

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja Maateaduste Instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geoinformaatikas ja kartograafias

**Eesti põhikaardi lehtede erinevate kaardistuste suhteline asukoha
täpsus**

Olga Rõbkina

Juhendaja: Kiira Mõisja, MSc
professor Tõnu Oja

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2015

Sisukord

Sissejuhatus	2
1. Eesti põhikaart	4
1.1 Ajalugu ja erinevad tootmisetapid.	4
1.1.1. Manuaalkartograafia	4
1.1.2. Digitaalkartograafia	5
1.1.3. GIS ja ETAK.....	6
1.2 Aeropildistamise ja stereokaardistuse kvaliteet	8
1.3 Põhikaardi kvaliteet	11
1.4 Asukohatäpsus	12
2. Andmed ja meetodika	15
2.1 Andmed	15
2.2 Punktide valik	16
2.3 Suhtelise asukohatäpsuse näitajate leidmine.....	17
3. Tulemused ja arutelu	20
3.1 Tartu.....	20
3.2 Kiili	25
3.3 Tartu ja Kiili.....	28
Kokkuvõte	33
Summary	35
Tänuavaldused	36
Viited	37
LISAD	39
Lisa 1. Kaardileht 63744, Kiili piirkond. Põhikaart.....	39
Lisa 2. Kaardileht 63744, Kiili piirkond. Ortofoto	40
Lisa 3. Kaardileht 54751, Tartu piirkond. Põhikaart	41
Lisa 4. Kaardileht 54751, Tartu piirkond. Ortofoto	42
Lisa 5. Polaargraafikud, Kiili.....	43
Lisa 6. Polaargraafikud, Tartu.....	44

Sissejuhatus

Üks tänapäeva aktuaalsemaid uurimisvaldkondi on maastikul toimuvad muutused ning sellega seonduv. Muutuste uurimiseks kasutatakse ühe ja sama ala kohta erinevatel aastatel ilmunud kaarte. Eestis saab selleks kasutada 1:10 000 digitaalset ETAKit, mille eelkäijaks on Eesti põhikaart. Nende mõlema andmestiku peale kokku leiab Eestis piirkondi, kus on olemas 2 – 3 erineval ajal tehtud kaardistust, näiteks Tartu piirkonda kaardistati kolm korda: 1996-98. aastal (I kaardistusring) 2004-2005. aastal (II kaardistusring), 2008. ja 2011. aastatel (III kaardistusring), samal ajal kui Hiiumaa piirkonnas vaid kaks korda: aastatel 2001 ja 2011. Eesti põhikaart on kõige detailsem kogu Eesti territooriumi kattev kaart ning nii Eesti põhikaart, mida kasutab aluskaardina Eesti avalik sektor, kui ka ETAK on aluseks riiklikule andmete infrastruktuurile. Lisaks sellele kasutatakse põhikaarti ja ETAKit igasuguste uuringute lähteandmestikuna (kaitsealade muutus, metsaraie, haljastamine, muutus jõgedes, järvedes, teede uuringud, ehitamistööd, KMH jne), seetõttu on põhikaardi kvaliteet väga tähtis.

Põhikaardi digitaalversioon kaardistati erinevatel aastatel objektide kaupa, kasutades erinevate aastate ning erineva kvaliteediga aero- ning ortofotosid, mis omakorda põhjustab ka kaardistuse ebaühtlast kvaliteeti. Kui võrrelda omavahel ühe ja sama ala kahte erinevat kaardistust, torkab silma, et samade objektide piirid ei lange kokku. Seega, kui uurida maastikul toimunud muutusi, tekib alati küsimus, kas tulemus peegeldab looduses toimunud tegelikku muutust, või hoopiski kahe andmebaasi vahelist suhtelise asukoha täpsust, sest kuni 2006. aastani Eesti põhikaarti tootes digiti kogu kaardi andmestik iga kord aerofotodelt uuesti ning täiendati hiljem välitöödelt kogutud parandustega. Alates 2006. aastast, kui käivitus ETAK, tehakse uuendusi eelneva kaardistuse ehk siis põhikaardi baasil. Olemasoleval kaardile viiakse sisse vajalikud parandused: muudetakse, eemaldatakse või lisatakse uusi objekte.

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida, milline on kolmel erineval aastal kaardistatud kaardilehtede omavaheline suhteline asukohatäpsus, kui suur on keskmine nihe ning kas need on erinevates lehepiirkondades süstemaatilised. Varem sarnast teemat Eestis uuritud pole, kuigi arvestades teema ajakohasust, oleks see vajalik. USAs ja Euroopas on viimasel kümnel aastal asukoha täpsuse vigu palju uuritud (Polo, Felisimo, 2010). Antud uurimus eeldab mahukat andmetöötlust, kõik võrdlused ja olulisemad tegevused tehakse *ArcGIS*i keskkonna

abil, kõik arvutused *MS Excel* programmi abil. Uurimisalaks valiti kaks kaardilehte: Tartu piirkond, kaardileht 54751 ja Kiili piirkond, kaardileht 63744.

Töö esimene peatükk annab ülevaate Eesti põhikaardi ajaloost, tootmisprotsessist ning kvaliteedi kontrollimisest. Teises peatükis vaadeldakse andmete kogunemise viisi, punktpaaride valikute põhjendusi ning asukohatäpsuse näitajate leidmist. Kolmas annab ülevaate saadud tulemustest. Ning neljandaks ja viimaseks peatükiks on kokkuvõte.

1. Eesti põhikaart

1.1 Ajalugu ja erinevad tootmisetapid.

Eesti põhikaart on Maa-ameti poolt koostatav Eestit kattev topograafiline vektorkaart (Maa-ameti geoportaal), mis on aluseks riiklikele teemakaartidele ning ruumiinfot sisaldavatele registritele (Potter, 2004), ning kus toimub andmete pidev kaasajastamine.

Kaardile on kantud andmed kommunikatsioonide (teed, elektriliinid), asustuse, hüdrograafia, pinnamoe, toponüümide ja maakasutuse kohta (Maa-ameti geoportaal).

Põhikaart valmis digiversioonis DGN-formaadis mõõtkavas 1:10 000, paberversioonis 1:20 000. Kaart on Lamberti konformses koonilises projektsioonis, ristkoordinaatsüsteemiks on L-EST97.

Põhikaardi projekt algas 1991. aastal, kui Maa-amet kinnitas „Põhikaardi programmi aastateks 1992 kuni 2005“ (Potter, 1992; Tamme, 1993). Uue projekti olulised eesmärgid olid geodeetiliste võrkude rekonstrueerimine ja rajamine, digitaalkartograafiline andmebaas, ortofoto 1:10000 täpsusega 3,5 m (Potter, 2004).

Põhikaardi tootmise võib jagada kolme etappi – manuaalsesse, digitaalsesse ning GISi etappi.

1.1.1. Manuaalkartograafia

1992 – 1995 a. koostati ja joonistati kaarte manuaaltehnoloogiat kasutades. Taasiseseisvunud Eestis käivitus uus programm riigi geodeetiliste võrkude rekonstrueerimiseks, aerofotomõõdistamiseks ja kaardistamistööks mõõtkavas 1:10 000/1:20 000. Selle raames töötati välja „Eesti põhikaardi programm aastateks 1992-2005“, mis nägi ette kaardi tootmist manuaaltehnoloogiaga, See kava jäi aga planeeritud kujul realiseerimata, sest 1996. aastal mindi põhikaardi tootmises üle.

Välikaardistamist teostas sellel perioodil Eesti Põllumajanduseprojekt, fotogramm-meetrilise töötlemist – Eesti Maaparandusprojekt, geodeetilise võrgu rajamist – Riiklik Ehitusuuringute Instituut (Potter & Tamme, 2001). 1993. aastal kavandati ka algupärase kaardi koostamine, mis kujuneks kogu riigi haldusala detailsemaks ja universaalsemaks topograafiliseks materjaliks. Riigi Maa-ameti tellimusel koostasid AS Kaardikeskuse ja Eesti Maauuringute spetsialistid välikaardistamise juhendi (Potter & Tamme, 2001). 1995. aastal valmisid esimesed ortofotod mõõtkavas 1:10000. Kasutati nõukogude ajast pärit tehnoloogiat ja

aparatuuri: analüütiline plokk(foto)triangulatsioon tehti vene „anagraafil“ ja ortofotod valmistati Zeissi „Ortofot-topokaart“ abil (Potter, 2004).

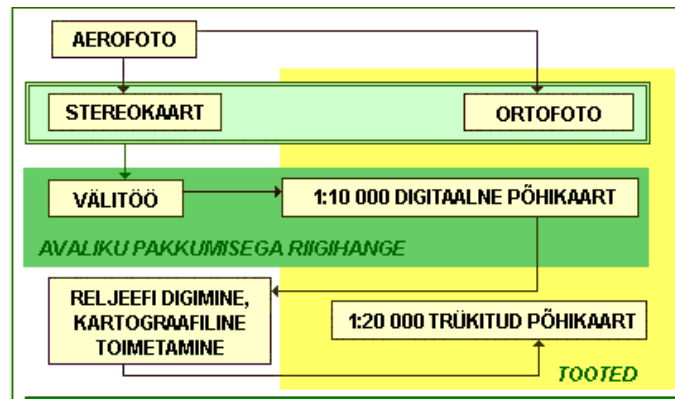
Manuaaltehnoloogia ajal oli tööliikide suhteline osakaal järgmine: aerofotomöödistamine ja ortofotode valmistamine mõõtkavas 1:10 000 (23,8%), välikaardistamine (42,0%), trükioriginaalide koostamine (23,6%), trükkimine (10,6%). Ortofotod olid mustvalged, lahutusvõime oli väga madala kvaliteediga. Kontrollmõõtmised kinnitasid täpsuse vastavuse nõutavale – 3,5 m, kuid fototehniliselt ei olnud need ortofotod kõrge kvaliteediga.

1.1.2. Digitaalkartograafia

1996 – 2006 a. kasutati põhikaardi tootmiseks digitaaltehnoloogiat. 1995. aastal koostati põhikaardi spetsifikatsioon ning käivitati kaardistamistöde arendamise pilootprogramm. Pilootprogrammi eesmärgiks oli üleminek stereokaardistamisele ja digitaaltehnoloogiale. Samal aastal algasid esimesed katsetused põhikaardi digitaalseks tootmiseks, mis täies mahus käivitus 1996. a (Vallner, 2004).

Eesti-Rootsi ühisprojekti (1994) raames alustas Rootsi Maamööduamet Eesti ala aeropildistamise- ja ortofotode valmistamisega mõõtkavades 1:10000 ja 1:2000 (Potter, 2004; Potter & Treikelder, 2011). Algas nn esimene digitaalne kaardistusring. Šveitsist oli tehnoloogilise abi korras Eestisse saadud digitaalsed fotogramm-meetrilised tööjaamad (Potter & Tamme, 2001).

1996. aastaks oli digitaaltehnoloogia juba igapäevases tootmistöös, välja kujunenud analüütiliste stereoseadmete, skannerite ja arvutite kasutamisele põhinev digitaalkaardistuse viis (Potter & Tamme, 2001). Selle viisi tööetapid olid järgmised: aeropildistamise projekteerimine, plaanilise võrgu punktide markeerimine möödistamispõhise rajamiseks, aeropildistamine, aerofotode skaneerimine, möödistamispõhise tihendamine fototriangulatsiooni meetodil, ortofotode valmistamine, stereokaardistus, välikaardistus, digitaalse andmebaasi toimetamine, reljeefi kihi koostamine, trükiks ettevalmistamine, kaardilehtede trükkimine (Potter & Tamme, 2001). Joonisel 1 on toodud tehnoloogiline skeem, mida kasutati aastatel 1996-2006. Tootmine on jaotatud nelja etappi, kuusjuures iga eelnev etapp on aluseks järgmise etapi toimumiseks (Mõisja, 2004). Aerofotod on aluseks stereokaardi ja ortofotode tootmiseks, mis omakorda on lähtematerjaliks põhikaardi väli- ja digitaalkaardistusele. Ortofotode valmistamine ei ole digitaalkaardistuse tööetapiks, vaid tuleneb maakatastri vajadustest (Potter & Tamme, 2001).



Joonis 1. Tehnoloogiline skeem (Maa-ameti geoportaal)

Lõpuks oli kaardiseeria koosseis järgmine: ortofoto, stereokaart, digitaalne põhikaart 1:10 000 (toodetud MicroStation'iga), trükitud topograafiline kaart 1:20 000 (Potter & Tamme, 2001). Kõiki töid teostasid AS Kaardikeskus, AS EOMap, AS Regio, Riiklik Ehitusuuringute Instituut, aitasid ka spetsialistid Eesti Põllumajandusülikoolist ja Tartu Ülikoolist. Kaardistamistööde kvaliteedi haldamiseks moodustas Maa-amet tehnilise kontrolli ja tööde vastuvõtu komisjoni, koostati aktid ning püüti võimalikult lähtuda kehtiva juhendi nõuetest kontrolli teostas Maa-amet.

2003. aastaks oli kogu Eesti kaetud digitaalse põhikaardiga (Mõisja & Pauts, 2005). Sel perioodil oli aerofotode lahutusvõime piksli suurusega GSD 40-50 cm (Maa-ameti Geoportaal), ning 2002. aastaks mindi üle värvilistele piltidele RGB formaadis.

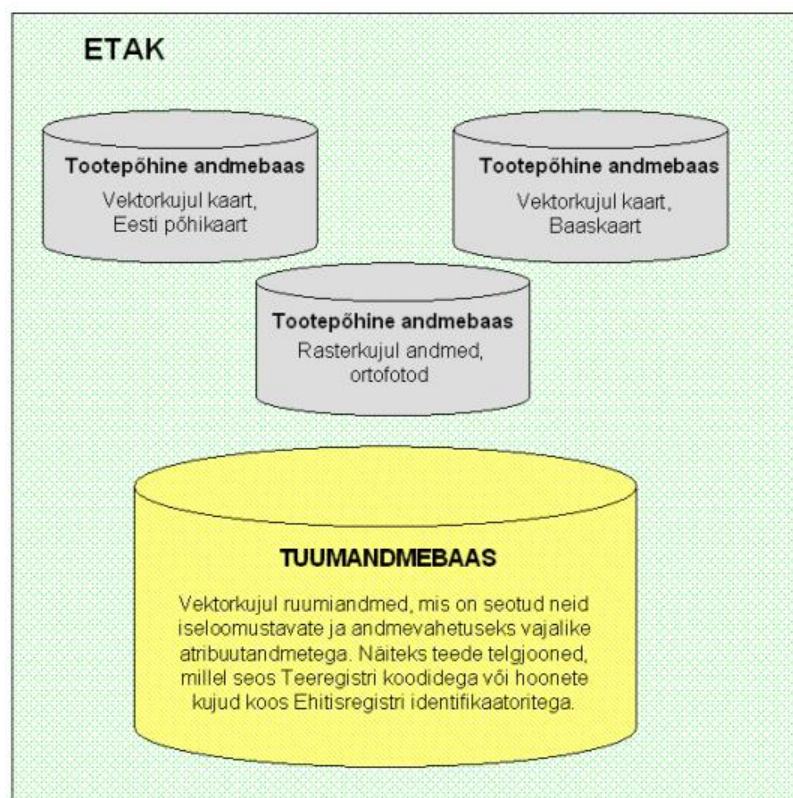
2004. aastal alustas Maa-amet Eesti põhikaardi uuendamisega, algas nn teine kaardistusring. Kaarti uuendati lausaliselt kaardistusobjektide kaupa. Uuendamise aluseks olid värskemad aerofotod ning välitööd. Uuendataval kaardilehel joonistati stereos kogu andmestik ümber ning täiendati hiljem välitöödelt kogutud parandustega.

1.1.3. GIS ja ETAK

2006 a. konverteeritakse CAD tarkvaraga toodetud Eesti põhikaart ümber GISi põhiseks Eesti topograafiliste andmete koguks (ETAK).

ETAK on Maa-ameti kui riigiasutuse poolt peetav andmekogu, mis on katastri aluskaartide uuendamise ja tootmise ning katastrikaartidele topograafiliste ruumiandmete allikaks (Maa-amet, 2006). Tehnoloogiliselt on ETAK geoinfosüsteem. Geoinfosüsteem on riistvara, tarkvara ja andmete kogum, mis võimaldab koguda, hallata, analüüsida ja kuvada ruumilist

informatsiooni (Maa-amet, 2006). Joonisel 2 on näidanud ETAK koosseis ja ülesehitus. ETAK koosneb tuumandmebaasist ja tootepõhistest andmebaasidest ning neid hallatavatest andmetest. Tuumandmebaas on vektorkujul ruumiandmed, mis on seotud neid iseloomustavate ja andmevahetuseks vajalike atribuutandmetega. Need on andmed, mida kaardistuse raames toodetakse või saadakse andmevahetuse käigus ning mis moodustavad alusandmestiku toodetavatele digitaalsetele kaartidele ja pakutavatele teenustele (Maa-amet, 2006). Tooteandmebaasiks olulisimaid tooteid on digitaalsed kaardid. Igal kaardil on spetsifikatsioon, kus on toodud kindlad nõuded nii kaardi sisu kui väljanägemise osas. Sisu nõuete alusel tehakse tuumandmebaasist vajalike andmete osas väljavõtte ning luuakse tooteandmebaas (Maa-amet, 2006).



Joonis 2. ETAK koosseis ja ülesehitus. ETAK koosneb tuumandmebaasist ja tootepõhistest andmebaasidest ning neid hallatavatest andmetest (Maa-amet, 2006).

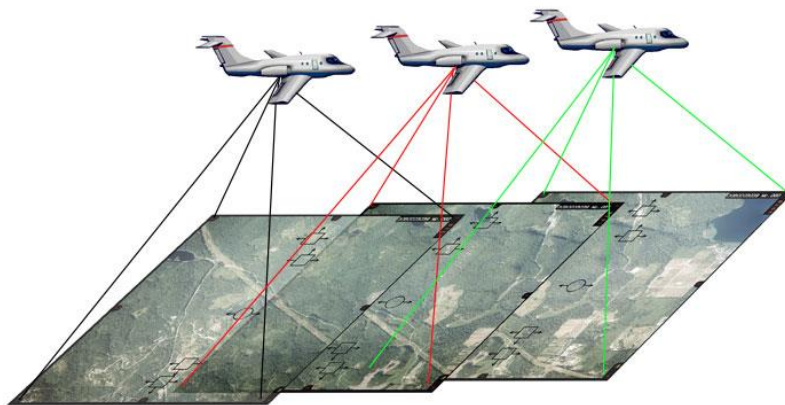
ETAKi eesmärgiks on olla riiklikele registritele ruumiandmete tootjaks ning vältida dubleerivat andmete tootmist (Teiter, 2008) ning täita Euroopa Parlamendi ja Euroopa Nõukogu poolt Euroopa Ühenduse ruumiandmete infrastruktuuri rajamiseks välja antud ja/või antavaid direktiive (Maa-amet, 2006). Põhikaardist saab ETAKi üks väljund, toode. Aeropildistamiseks, mida tänapäeval teeb Maa-amet ise, kasutatakse digitaalfotokaamerat erineva värvikanalitega (RGB, CIR, NGR) (Maa-ameti Geoportaal). Aerofotode

lahutusvõime kvaliteet on palju suurem, ortofotod GSD 25 cm, metsanduslikud ortofotod GSD 40 cm (Maa-ameti geoportaal).

Uuendamise kontseptsiooni põhimõte on teha uuendusi stereokaardistuse teel värskemate aerofotode põhjal ainult nendele objektidele, mis on looduses muutunud, ehk olemasoleval kaardil muudetakse, eemaldatakse või lisatakse uusi objekte. Välitöid tehakse pisteliselt.

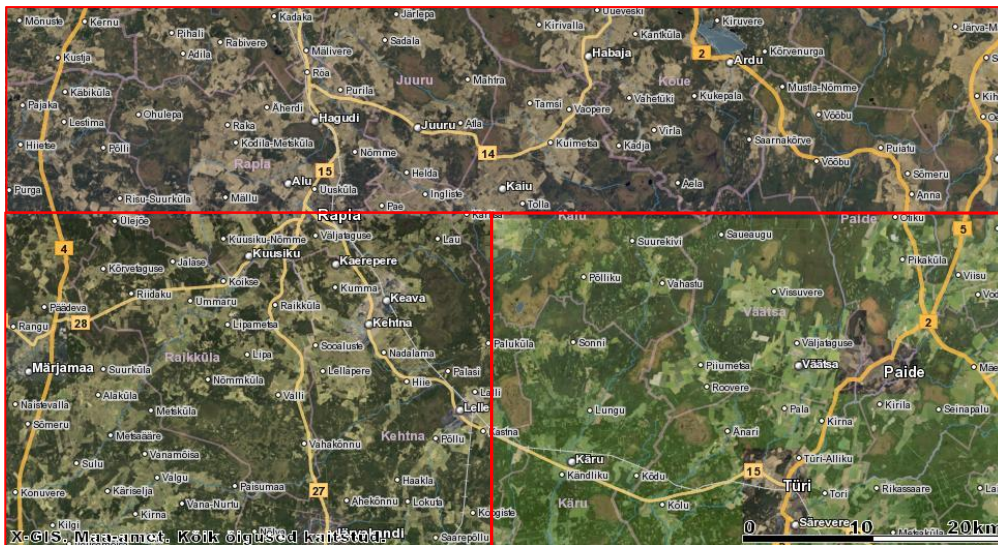
1.2 Aeropildistamise ja stereokaardistuse kvaliteet

Aeropildistamiseks planeeritakse kõige pealt lennumarsruut ja iga pildi tegemise sagedus selliselt, et saadud aerofotod oleksid teatud omavahelise kattuvusega (Joonis 3). Kattuvus on vajalik selleks, et hilisemal aerofotode fotogramm-meetrilisel töötlemisel tekiks ruumiline stereokujutis, millel omakorda on võimalik teha kõik kaardi koostamiseks vajalikud mõõtmisi (Suurna, 2009).



Joonis 3. Aeropildistamise põhimõte (Maa-ameti geoportaal).

Eesti põhikaardi koostamiseks on kasutatud aerofotosid, mis on valminud aastatel 1991-2015. (joonis 4).



Joonis 4. Eesti ortofotokaardi fragment, kus on hästi nähtav, et foto koosneb fragmentidest, mis on tehtud erineval ajal. (Maa-ameti geoportaal).

Aerofotod on tehtud erinevatel aastatel erinevate firmade ja seadmetega ning nende kvaliteet (must-valged/värvilised, piksli suurus, moonutused) on erinev, mis omakorda avaldab mõju stereokaardistuse kvaliteedile. Joonisel 5 on toodud Tartu lehe kaardistuseks kasutatud fotode näidised aastatest 1995, 2003, 2010. 1995. a. fotod on tehtud analoogkaameraga ning on must-valged. 2003. a. foto on tehtud digitaalkaameraga. Fotodelt on näha, et 1995.a. fotol on objektide piirid hägusemad, kui 2010.a. fotol.



1995.a.

2003.a.

2010.a.

Joonis 5. Tartu lehe ortofotode fragmendid 1995., 2003. ja 2010.a. (Maa-ameti geoportaal).

Eesti põhikaardi andmed on saadud stereokaardistamise teel, mis on inimese ruumilisel nägemisel, aerofotodel ja kõrgtäpsete fotogramm-meetriliste seadmete kasutamisel põhinev maa-ala vektorkaardi ja/või plaani koostamise meetod (Metsur, 2012).

Stereokaardi kvaliteedi seisukohalt on oluline aerofoto lahutusvõime (joonis 6), mis oleneb peamiselt kaamera optilise süsteemi täiuslikkusest ja aerofilmi keemilistest omadustest (Potter, 2009) või digitaalkaamera sensori lahutusvõimest. Viimastel aastatel on fotogramm-meetria arengut saatnud suur edu, eriti täpsete aerofotokaamerate valdkonnas (Liba, 2005). Seetõttu on aerofotod, mis on tehtud viimasel ajal, täpsemad ning kvaliteetsemad, sest aerofotokaamerate läätsede lahutusvõimet on suurendatud, sensorid paremad ning moonutused viidud miinimumi.



GSD 16 cm (1: 2 000)

GSD 25 cm (1: 5 000)

GSD 40 cm (1: 10 000)

Joonis 6. Erinevate pikslisuurusega üks ja sama pilt, digimise protsessis võib väike lahutusvõime põhjustada asukoha ebatäpsusi. (Maa-ameti geoportaal).

Stereokaardi kvaliteedi seisukohalt on väga oluline aerofotode valmistamise meetod, kas fotod on tehtud analoogmeetodil või digitaalmeetodil.

Analoogtehnoloogia põhjal kaeti maa-ala kindla skeemi järgi pildistamismarsruudiga. Aerokaameraga, mis oli paigutatud lennukile, tehti maapinnast võtteid üksikkaadrite kaupa. Et fikseerida pildistusparameetrid, olid kaameral lisaseadmed (Potter, 1998). Nõnda vähendati paratamatuid fotograafilisi moonutusi ja tagati fotogramm-meetriliseks töötluseks vajalik stereoefekt (Potter, 2009).

Kasutamise ja kvaliteedi seisukohalt on parimad digitaalmeetodil valmistatud aerofotod, sest digitaalaerokaamera spektraalsed omadused on paremad ja olenevad peamiselt valgustundlike sensorite tehnilistest parameetritest (Potter, 2009).

1.3 Põhikaardi kvaliteet

Nihutamise ning juurde digimise protsess toimub käsitsi, mis tähendab, et töökvaliteet on väga tähtis, ning et erinevate tootjate poolt valmistatud kaardid vastaksid nõuetele, teostab Maa-amet põhikaardistuse töödele kvaliteedikontrolli (Maa-amet, 2006), mille aluseks on kartograafia valdkonnas juba kehtivad või väljatöötamisel olevad rahvusvahelised standardid (Mõisja, 2004). Põhikaardi koostamise juhendis on kirjeldatud kõik tingimused, mida valmistaja peab täitma, andmete kvaliteedinõuded ja kvaliteedinäitajad (Maa-amet, 2013), ning välja toodud ka standardid, mis peavad olema täidetud.

Kvaliteedi nõuded on talletud „Topograafiliste andmete kaardistusjuhendis“, mis on üks olulisemaid faktoreid kvaliteedi tagamiseks (Mõisja, 2004).

Juhendi aluseks võttis Maa-amet mitmeid rahvusvahelisi standardeid. ISO19114 „Geographic Information – Quality evaluation principles“ järgi kvaliteedi hindamiseks on viis sammu:

1. Määratleda need kvaliteedi elemendid, mis on toote juures olulised;
2. Määratleda, millistele väärtustele kvaliteedi elemendid peaksid vastama;
3. Valida kõige paremat metoodikat kvaliteedi mõõtmiseks;
4. Kvaliteedi füüsiline mõõtmine ja hindamine;
5. Kvaliteedi tulemuste talletamine ning tagasiside (Mõisja, 2004).

Kvaliteedi hindamise meetodid jagatakse kaheks: otsesteks ning kaudseteks.

Otsese kvaliteedi hindamise korral on kvaliteedi hindamise aluseks hinnatav objekt ise, ning otsene kvaliteedi hindamine jaguneb omakorda:

1. sisemiseks hindamiseks, mille puhul määratakse kvaliteedi näitajad hindamisobjektil otseste kvaliteedi mõõtmiste (nt snäpivigade esinemine) tulemusel (Mõisja, 2004);
2. välimiseks hindamiseks, kus võrreldakse hindamisobjekti näitajaid välise andmestikuga (nt teede registri andmetega) (Mõisja, 2004).

Kaudse kvaliteedi hindamise korral on hindamise aluseks toote, andmestiku, hindamisobjekti kirjeldus.

Vastavalt kasutatud tehnikale jagunevad kvaliteedi kontrollid automaatseks ning mitteautomaatseks ehk visuaalseks kontrolliks. Vastavalt kontrolli hulga jagunevad kontrolli meetodid kas täielikuks (kontrollitakse kas kogu territoorium või nähtus 100%) või osaliseks kontrolliks (Mõisja, 2004).

Eesti põhikaardi kvaliteedi hindamiseks kasutati ainult otsest meetodit ning kontrolliti automaatselt 100% ulatuses. Kvaliteedi kontrolli hinnati nii välikaardistusel kui ka digitaalkaardistusel. Välitöödel kontrolliti umbes 7-9% objektist. Välikaardistuskontrolliks kasutati põhikaardi värvilist väljatrükki, stereokaardi ja digitaalkaardi ühisväljatrükki, ortofotosid, katastrialuskaarti koos katastriüksuste piiridega, NL 1:10 000 topokaarti. Digitaalkaardistuse kontrolli tehti kameraalselt, mis tähendab et, mõõdeti eraldi tehnilist kvaliteeti, kaardistuse korrektsuse kvaliteeti ning sisulist kvaliteeti võrreldes teiste allikmaterjalidega (Mõisja, 2004). Kameraalkontrolliks kasutati nii automatiseeritud kui visuaalseid meetodeid.

Inimesed võivad eksida, igasuguse mõõtmistegevusega kaasneb mõõtmisviga, ka mõõteriistadel on mingi mõõtmistäpsus, seetõttu kontrolliti kõik parandused kindlasti üle.

Tänapäeval lähtutakse kvaliteedi hindamisel ISO 19157, mis asendas seni kasutuses olnud standardid ISO 19113, ISO 19114 ja ISO 19138 (Leibovici et al. 2013). Maa-amet võttis kvaliteedi hindamiseks kasutusele järgmised kvaliteedi näitajad (Maa-amet, 2013):

- **täielikkus** (*completeness*) – määr, mis näitab kui suur hulk kriteeriumitele vastavatest, looduses esinevatest nähtustest on kaardistatud (või kaardistamata jäetud);
- **asukohatäpsus** (*positional accuracy*) näitab asukoha erinevust tegelikust (eristatakse ruumikuju õigsus, suhteline ja absoluutne asukohatäpsus);
- **ajakohasus** (*currentness*) kätkeb endas nii kehtestatud andmete uuendamise graafikust kinnipidamist kui ka ajafaktoriga seotud metaandmete täpsust;
- **loogiline õigsus** (*consistency*) – määr, kui suures osas andmestik vastab juhendi loogikale;
- **atribuuditäpsus** (*thematic/attribute accuracy*) – hinnang objektide klassifitseerimis- ja identifitseerimistäpsusele ning atribuutide väärtuste korrektsusele.

1.4 Asukohatäpsus

Geoinformatsiooni kvaliteet on üks kõige olulisematest küsimusest geograafilise infosüsteemi uurimisel (Mobasheri, 2013). Üheks olulisemaks kvaliteedinäitajaks on asukohatäpsus, mida

on palju uuritud selleks, et leida uusi meetodeid asukohatäpsuse kõige paremal viisi kirjeldamiseks.

Asukohatäpsus näitab asukoha erinevust tegelikust e. reaalsuses olevast asukohast. Asukohatäpsust saab määrata antud andmebaasi andmete ning tegeliku asukoha andmete erinevuse abil (Goodchild & Hunter, 1997). Kui see pole alati võimalik, saab omavahel võrrelda erinevate aastate andmeid, et leida objekti kõige täpsem asukoht. Lähtepunktiks asukohatäpsuse üle arutlemiseks saab olla järgmine mudel: olem (*entity*) – atribuut (*attribute*) – väärtus (*value*), mis on enamiku andmebaaside aluseks nähtuse defineerimisel reaalmaailmas (Veregin, 1999). Vastavalt sellele mudelile näitab olem reaalmaailma nähtust (nagu teed, riigid jne), atribuut määrab objekti/nähtuse ajakohasuse omaduse, ning väärtuse annab konkreetne kvalitatiivne või kvantitatiivne mõõtmine, mis on seotud antud atribuudiga. Selle mudeli järgi saab määratleda ruumilisi (*positional*), ajalisi (*temporal*) ning temaatilisi (*thematic*) vigu. Ainus võimalus mõõta asukohatäpsust on võrrelda omavahel andmeid, mis võivad olla võetud erinevatest allikatest, või tehtud erineval perioodil (Mobasheri, 2013).

Ruumikuju õigsuses eristatakse, suhtelist (*relative*) ja absoluutset (*absolute*) asukohatäpsust (Maa-amet, 2013). Absoluutne asukohatäpsus määratakse geodeetilise põhivõrgu suhtes. Kirjanduses pööratakse absoluutsele asukohatäpsusele väga vähe tähelepanu (Veregin, 1999). Kuid Jakobsson ja Vauglin (2001) avaldasid tulemused, kus uurisid milline on kvaliteedi olukord Euroopa riiklike kaardistusasutusel (*European National Mapping Agencies*), millised kvaliteedi elemente kõige rohkem on kasutusel. Küsimustikul osalesid 18 riiki (ka Eesti), ning tulemuseks saadi, et 68% riigist kasutavad kvaliteedi hindamiseks absoluutse asukohatäpsust (suhtelise asukohatäpsust aga ainult 29%) (Jakobsson & Vauglin, 2001). Suhteline asukohatäpsus iseloomustab objektide omavahelise asendi täpsust (Maa-amet, 2013). Näitaja arvutamiseks/kirjeldamiseks püütakse välja töötada uusi meetodeid (Polo & Felicísimo 2010, Maune 2007, Shi 2009, Veregin 1989), mis täiendaks andmeid ning annaks kvaliteedist täielikuma ülevaate.

Suhtelise asukohatäpsuse väärtuse saamiseks on kolm varianti (Polo & Felicísimo 2010):

- 1) nihete või kauguse analüüs (skalaarne väärtus),
- 2) asimuudi analüüs (nurgeline väärtus),
- 3) kasutada nii nihete kui ka asimuudi näitajad.

Kõige klassikalisem viis on asukohatäpsuse hindamine läbi lineaarse andmete (*linear data*). Üheks tavaliseks viisiks on aritmeetiline keskmine, mis püüdleb nulli poole juhul kui nihe puudub (Veregin, 1999). Kui nihe puudub, võivad vead olla juhuslikud.

Teine näitaja on keskmine ruutviga/standardhälve, mis on ruutjuur dispersioonist. Keskmine ruutviga iseloomustab kõige paremini mõõtmiste täpsust ja tingimusi, milles mõõtmised on tehtud. Kui vigade jaotus toimub normaal- või Gaussi jaotusena, on see kõige lihtsam viis asukohatäpsuse määratlemiseks (Goodchild & Hunter, 1997).

Kuid klassikalised meetodid ainult analüüsivad ja aitavad hinnata keskmise väärtuse kaudu, ning ei anna täisväärtusluku pildi. Seetõttu asukohatäpsuse määratlemiseks hakati kasutama ka ringandmed (*circular data*).

Ringandmete meetod on suunatud paljudele valdkonnadele, nagu näiteks meteoroloogia, geoloogia, bioloogia, geograafia jne (Polo & Felicísimo 2010). Selline statistiline analüüs nõuab elemente, mis erinevad lineaarandmetest (Polo & Felicísimo 2010). Ringandmete analüüs eeldab, et:

- a. kõigepealt on lähtepunktiks suund (põhja suund, X koordinaat, jne),
- b. suhted ringandmete vahel ei ole samad nagu lineaarandmete omad (näiteks, 180° ei ole suurem kui 120°),
- c. kasutatakse 0° - 360° intervalli, mis annab rohkem võimalusi andmete võrdlemiseks ja analüüsimiseks (Polo & Felicísimo 2010).

Peamised näitajad on: keskmine suund θ ja kaugus r . Ringandmete näitajad on kasulikud, kuid ei anna täielikku ülevaadet. Neid kasutatakse sageli lineaarandmetele lisaks selleks, et täiendada vigade karakteristikuid, ning saada rohkem informatsiooni andmete kvaliteedist.

Kõik moonutused, mis võivad esineda kaardil jagatakse süstemaatiliseks ja juhuslikuks. Süstemaatilised vead on väikesed vead, mis moonutavad mõõtmistulemusi mingis kindlas suunas või ka perioodiliselt muutavas suunas, juhuslikud vead aga moonutavad mõõtmistulemust antud tingimustes lubatava vea piires (Randjärv, 2007).

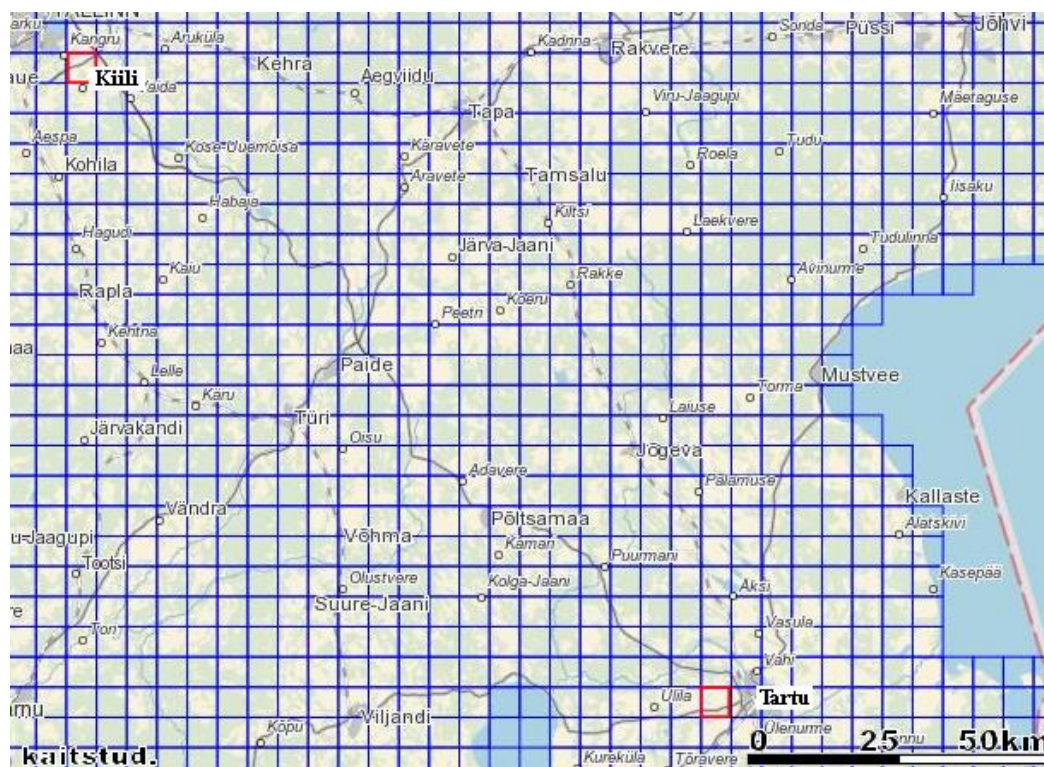
2. Andmed ja meetoodika

2.1 Andmed

Käesolevas bakalaureusetöös uuritakse suhtelist asukohatäpsust kahel Eesti põhikaardi 1:10 000 kaardilehel. Kaardilehtede valiku põhimõtteks on tasane reljeef, väike metsade ning suur avatud alade osakaal, mõlemal on ligikaudu sarnane objektide arv, uuritava ala kohta peab olema kaardistusi kolmest erinevast aastast. Eelpool toodud kriteeriumitele vastasid ning töös kasutati järgmisi kaardilehti (joonis 7, lisad 1,2,3,4):

- **Tartu** 1 leht **54751**, mis asub Tartu linnast idas (edaspidi Tartu leht) ning mille kaardistusaastad on 1998, 2005, 2011
- **Kiili** 4 leht **63744**, mis asub Jüri ringtee ümbruses (edaspidi Kiili leht) ning mille kaardistusaastad on 1998, 2004 ja 2010.

1998., 2004/2005. aastate kaardilehed on saadud Maa-ametist MapInfo .tab formaadis, 2010/2011. aastate andmed on väljavõte ETAKist (Eesti topograafia andmekogu), mida Maa-amet edastab ESRI geoandmebaasi formaadis. Käesoleva uurimuse jaoks konverteeriti kõik andmed SHP formaati.

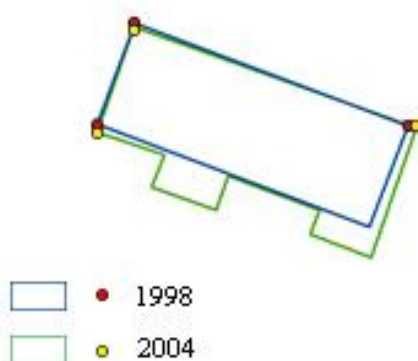


Joonis 7. Töös uuritud kaardilehed (märgitud punasega): Kiili (63744) ja Tartu (54751). Eesti põhikaart (Maa-ameti geoportaal).

2.2 Punktide valik

Suhtelise asukohatäpsuse määramiseks kasutati punkte. Väga oluline oli valida punktid, mille asukohta on looduses võimalik maksimaalselt üheselt määrata ning mille asukoht aastate lõikes ei muutu. Sellisteks punktideks on näiteks punktobjektidena kaardistatud elektripostid, allikad, üksikud puud jne, ning pindobjektidest hoonete nurgapunktid. Metsapiirid ja teised kõlvikupiirid võivad ajas muutuda, lisaks on nad ka looduses määratletud väiksema täpsusega. Kitsamad teed ja vooluveekogud digitakse nende objektide telgjoonele, mille kaardistaja määrab subjektiivselt, seetõttu ka neid joonobjekte ei vaadelda. Kõlvikute piiride ning joonobjektide käänupunkte ei saa kasutada seetõttu, et andmete digijad sisestavad käänupunkte erinevatesse kohtadesse. Igal kaardilehel igale kolmele aastale vastab ühesugune punktide arv.

Suhtelise asukohatäpsuse määramiseks vajalike punktide valimine toimus ArcGIS tarkvara abil. Esimeseks sammuks oli pindobjektide (ehitiste) teisendamine punktobjektiks töövahendiga *Feature Vertices to Points* ning saadud punktidele ristkoordinaatide arvutamine. Teiseks sammuks oli leida üles need hoonete nurgapunktid, mis olid olemas kõigil kolmel erineval kaardistusaastal ning tähistasid samasid kohti. Joonisel 8 on näha, et erinevatel aastatel, ilmselt tulenevalt aerofotode kvaliteedist, on hooned kaardistatud erineva detailsusega. Need nurgad, mis hoonel tähistavad kindlalt sama nurga asukohta, on joonisel tähistatud kollaste ja punaste täppidega, ilma tähiseta nurkade käänupunktid jäid aga valikust välja seetõttu, et neil puudusid vastavad punktipaarid.

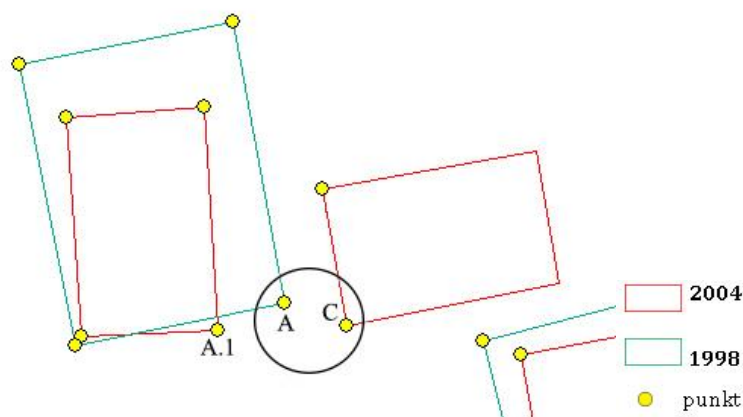


Joonis 8. Punktipaaride valiku põhimõtte: valiti need punktid, mis hoonel tähistavad ühte ja sama nurga asukohta.

Ühiste nurgapunkti paaride leidmiseks erinevate aastate kaardistuste vahel (1998–2004/2005, 2004/2005–2010/2011 ning 1998–2010/2011) kasutati *Select by location* tööriista otsinguraadiusega 5 m. Tulemuse kontrollimiseks vaadati kõik punktid käsitsi läbi selleks, et eemaldada need punktipaarid, mis ei ole üksteisega loogiliselt ühendatud.

Punktipaarid leiti automaatselt, mis tähendab, et ArcGIS valis kõik punktid, mis olid 5 m raadiuses, seetõttu on moodustanud punktipaaride hulgas ka neid, mis loogiliselt paare ei moodustanud. Joonisel 9 on 1998 – 2004 a. näide, kus on must ring ümber tõmmatud vale punktipaarile. Punkt A moodustab punktiga A.1 ühispaari, kuid kuna A ning punkt C asuvad raadiuses 5 m, siis loeb ArcGIS punktid AC paariks, mis on ebaloogiline, sest need punktid ei moodusta objekti, nad on erinevate hoonete omad. Samamoodi kontrolliti üle ka ainult punktobjektidest moodustatud punktipaarid.

Lõpliku valikuna jäi analüüsi Tartu kaardilehel 1721 hoonete nurgapunkti ja 33 punktobjekti, ning Kiili kaardilehel vastavalt 903 ja 69 punkti.



Joonis 9. ArcGis valis kõik punktid, mis olid otsinguraadiuses, seetõttu osutusid valituks ka punktid, mis ei moodustanud punktipaare ja olid liigsed. Need punktid eemaldati käsitsi.

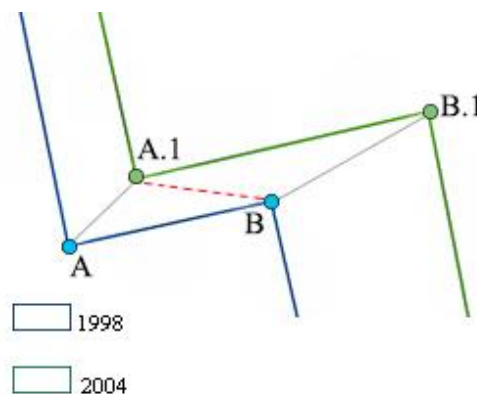
2.3 Suhtelise asukohatäpsuse näitajate leidmine

Nele Jäetma ja Natalja Liba (2007) uurisid Eesti põhikaardi näitel digitaalkaardil olevate objektide täpsuse hindamise metoodikat erinevatest allikatest saadud andmete kontrollimiseks ning võrdlemiseks.

Tehtud statistika põhjal leiti, et otseseid nihkeid iseloomustab kõige paremini aritmeetiline keskmine ning keskmine ruutviga. Kuid käesolevas töös kaardilehe erinevate aastate kaardistuste vahelise suhtelise asukohatäpsuse kirjeldamiseks kasutati ka mediaani.

Eelpool mainitud näitajate leidmiseks arvutati, kasutades ArcGISi tööriista *Near*, leitud punktipaaridele nihe (*Near Distance*) ning nihkesuund (*Near angle*). Nihe ja suund leiti 1998 ja 2004/2005, 2004/2005 ja 2010/2011, 1998 ja 2010/2011 aastate vahel, lähtepunktiks oli alati varasema aasta punkt. ArcGIS-i graafikatööriista kasutati selleks, et kujundada nihke kaugusest ja suunast polaargraafikud (lisa 5, 6).

Tulemused eksporditi MS Excelisse, kus kontrolliti, kas kaugused on arvutatud õigete punktide vahel. Kuna *Near Distance* arvutamisel kasutati ka otsinguraadiust, arvutas ArcGISi tööriist mõnedel juhtudel kaugused valede punktide vahel. Joonisel 10 on näidatud fragment, kus arvutused olid valesti tehtud. ArcGIS luges kauguse B ning A1 (punane joon) vahel. Õiged paarid on AA.1 ja BB.1, mis on hoonete punktipaarid. Vale arvutamine on seotud sellega, et punkt A1 on punktile B lähemal kui punkt B1. Ebaloogilised tulemused eemaldati edasisest analüüsist, Tartu lehel oli neid punkte 11.



Joonis 10. Punktipaaride vahel arvutatud kaugused. Kollasega on näidatud õigete punktipaaride vahelised kaugused, punasega on näidatud vale punktipaari vahel arvutatud kaugus.

Kasutades MS Exceli standardfunktsioone arvutati nii Tartu kui Kiili lehele igale perioodile lehel esinevate punktipaaride nihete keskmine, standardhälve, ning mediaan. Punktipilve keskmise nihke ja suuna arvutamiseks nihete ristkoordinaatidest kasutati alljärgnevaid valemeid:

Valem 1. Punktide keskmise nihke arvutamine

$$r = \sqrt{x_{\text{kesk}} \times x_{\text{kesk}} + y_{\text{kesk}} \times y_{\text{kesk}}}$$

kus r on θ -polaarkoordinaat, x_{kesk} on keskmine ristkoordinaat x_0 , ning y_{kesk} on keskmine ristkoordinaat y_0 .

Valem 2. Suuna arvutamine

$$\theta = \arctan \frac{(y_{\text{kesk}}/x_{\text{kesk}}) \times 180}{\pi}$$

kus θ on polaarkoordinaat, x_{kesk} on keskmine ristkoordinaat x_0 , ning y_{kesk} on keskmine ristkoordinaat y_0 . Juhul kui x oli negatiivne liidetati 180, juhul kui mõlemad (nii x kui ka y) olid negatiivsed lahutati 180.

Arvutuste tulemused koondati ühte tabelisse (tabel 1), kus on toodud välja järgmised näitajad: standardhälve, keskmine viga, mediaan, X ja Y koordinaadid, nihete nurk ja raadius, keskmise vea ja mediaani suhe.

Selleks et välja selgitada, kas asukohtade nihked erinevate aastate kaardistuste vahel on kogu kaardilehe ulatuses ühesugused, või on erinevates lehe osades erinevad, jaotati kaardilehed 3x3 ruudustikuks (joonis 11) ning leiti eelpool toodud näitajad iga osaruudu kohta eraldi.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Joonis 11. Kaardilehe jaotus üheksaks ruuduks

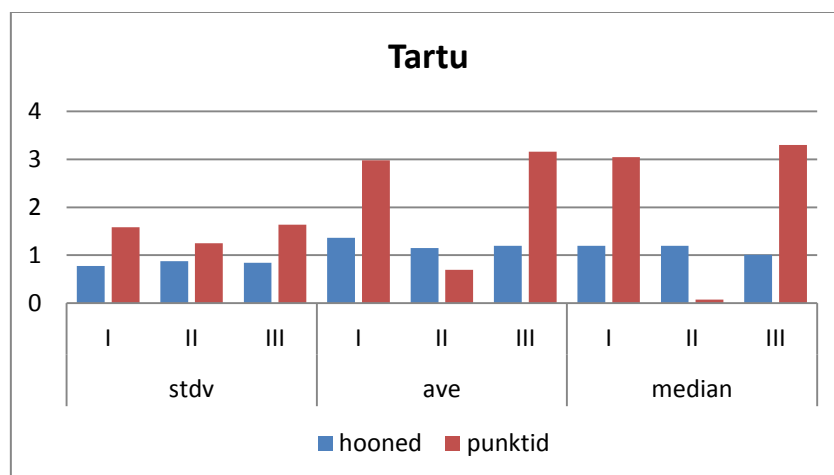
3. Tulemused ja arutelu

Punktide nihked on esitatud kolmes tabelis: koondtabel (tabel 1) näitab mõlema uuritud kaardilehe hoonete ja punktobjektide nihete keskmist ulatust, selle standardhälvet, mediaanväärtust ning hajuvuspunktide pilve rist- ja polaarkoordinaate kolme ajaperioodi kaupa. Kaardilehtede tabelites on esitatud samad parameetrid üheksa osaruudu kaupa

3.1 Tartu

Joonisel 12 on toodud Tartu lehe tulemused: standardhälve (stdv), keskmine viga (ave), mediaan (median), eraldi on näidatud hoonete ja punktobjektide tulemused. Graafikust on näha, et kõige suuremad hajuvused on punktobjektidel, kus nihete statistilised näitajad on suuresti erinevad. Eriti on esimesel (1998 - 2005 võrdlus) ja teisel (2005 ja 2011 võrdlus) perioodil suured erinevused keskmise vea ning mediaani näitajates. See tuleneb sellest, et punktobjektidena võeti suurt hulka puid, mis on kõrguslik objekt ning ei oma korrapärast varju nagu näiteks post, mis on samuti kõrguslik, kuid mille vari on selgesti eristatav (Jäetma & Liba, 2007). Aerofotodel esinevad varjud mõjutavad mingil määral asukohatäpsust. Eriti on raske määrata puude ja põõsaste asukohta, sest aerofotodel on lehestiku ja tõttu piirid on ebamäärasead.

Kõik kolm näitajat on teisel (2005 ja 2011 võrdlus) perioodil kõige väiksemad võrreldes teiste perioodidega (v.a hoonete stdv teisel perioodil, mille väärtus on natuke suurem).



Joonis 12. Tartu hoonete ja punktide standardhälbe, keskmise vea ja mediaani näitajad (ühikud meetrites). I on nihe 1998 ja 2005 a. võrdluses, II – 2005 ja 2011. a., III – 1998 ja 2011 võrdluses.

Tabel 1. Nihete koondtabel (ühikud meetrites).

erinevus 10+ korda erinevus 10-20% erinevus all 10%

	Kiili, hooned			Tartu, hooned			Kiili, punktobjektid			Tartu, punktobjektid		
	98_04	04_10	98_10	98_05	05_11	98_11	98_04	04_10	98_10	98_05	05_11	98_11
Standardhälve(Stdv)	0,783	0,721	0,820	0,773	0,877	0,843	2,265	1,408	1,250	1,583	1,250	1,635
Keskmine vigaa(ave)	1,611	0,494	1,505	1,361	1,147	1,195	1,129	0,804	2,331	2,978	0,699	3,162
Mediaan(median)	1,526	0,084	1,394	1,194	1,195	1,007	2,251	0,077	2,245	3,043	0,078	3,302
X	-0,312	-0,048	-0,362	0,749	-0,898	-0,161	0,010	0,127	0,137	0,848	-0,232	0,616
Y	-0,555	0,117	-0,418	-0,049	0,077	0,031	0,182	-0,167	0,015	-0,577	-0,381	-0,958
Nurk(θ)	-119,34	112,41	-130,88	-3,760	175,07	169,21	86,990	-52,781	6,283	-34,227	-121,26	-57,255
Raadius(r)	0,636	0,127	0,553	0,750	0,901	0,164	0,183	0,210	0,138	1,025	0,446	1,139
Keskmine/ mediaan	1,056	5,890	1,079	1,141	0,960	1,186	0,501	10,484	1,038	0,979	9,011	0,957
Punktide arv okku	903			1721			69			33		

Teooriasse tagasi minnes selgub, et 2005-2011 perioodi väikesed nihked on loogilised, kuna 2011. aasta kaardistus (ETAK) on tehtud 2005. aasta kaardistuse baasil. Eriti punktobjektidel mediaani arv 2005-2011 perioodil on väga madal, ainult 0,078. Paljud nihked on mõne sentimeetrisuurused, mis võivad tulla teisendustes, mida on andmetega tehtud. Punktide andmete põhjal 1998-2005 ja 1998-2011 perioodil on keskmise vea ja mediaani erinevus alla 10%, 2005-2011 perioodil on erinevus 9 kordne. 2005-2011 perioodil on keskmine viga, mediaan ja raadius väga väikesed (vastavalt 0,699; 0,078; 0,446) võrreldes 1998-2005 (2,978; 3,043; 1,025) ja 1998-2011 (3,162; 3,302; 1,139) perioodiga (tabel 1).

Hoonete punktid käituvad kolmel perioodil sarnaselt, puudub järsk erinevus. Standardhälbed on kõigil kolmel perioodil ühtlased nii hoonetel (1998-2005 – 0,773; 2005-2011 – 0,877; 1998-2011 – 0,843), kui ka punktobjektidel (1998-2005 – 1,583; 2005-2011 – 1,250; 1998-2011 – 1,635).

Vaadeldes üheksat osaruutu (tabel 2) kolmel perioodil eraldi võime andmeid käsitleda 27 hajumisjuhtumina kummalgi kaardilehel (tabelis on käsitletud ainult hoonete punktid).

Valdavalt on hajuvuse jaotus suhteliselt sümmeetriline – keskmise ja mediaani erinevus on alla 10% 11 juhul ning 10-20% vahel 13 juhul. Seejuures on ka standardhälve keskmisest väiksem. Kahel juhul – teise ja viienda osaruudu 1998-2011 perioodil ilmneb ebasümmeetrilisus tugevamini, mediaan on keskmisest veerandi võrra väiksem. Kõige ilmsem on ebasümmeetrilisus seitsmenda ruudu teisel perioodil, kus mediaan on keskmisest palju väiksem ning pooled nihetest jäävad 10 cm piiresse.

Perioode omavahel võrreldes on enamasti nihete ulatus ja jaotus sarnased. Erinevad on juba nimetatud teine ja viies ruut (kolmanda perioodi jaotus ebasümmeetriline) ning seitsmes ruut (teise perioodi jaotus tugevasti ebasümmeetriline). Samas nihete suund varieerub ruuduti ja periooditi üsna juhuslikult.

Kolmandal 1998-2011 perioodil on kõikides ruutudes keskmised nihked kõige väiksemad. Kõige väiksem standardhälve on neljandas ruudus esimesel 1998-2005 perioodil (0,542), ning kõige suurem viiendas ruudus teisel perioodil.

Tabel 2. Tartu näitajad osaruutude kaupa (ühikud meetrites).

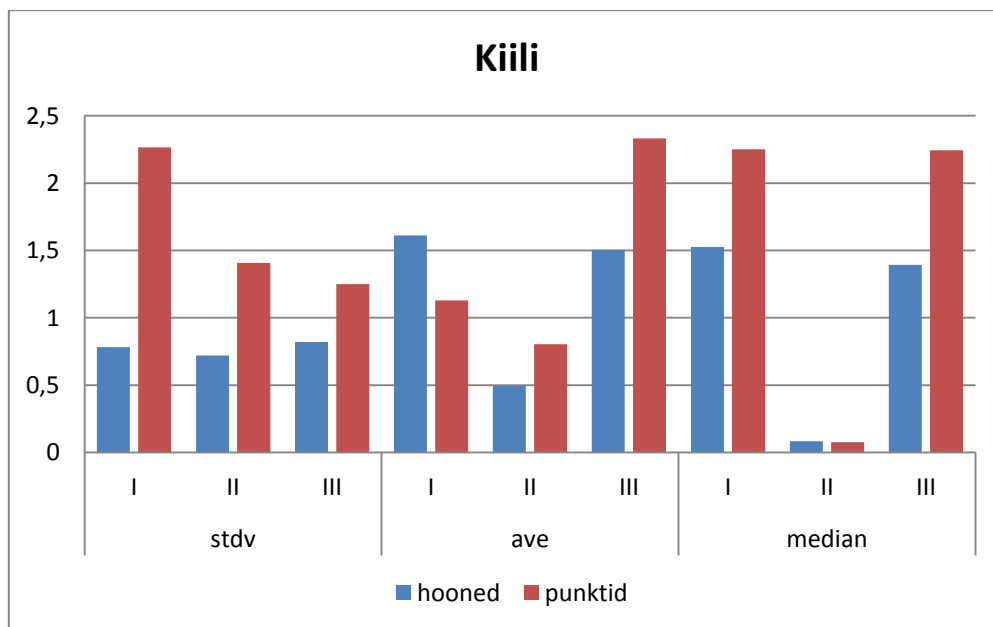
	erinevus 7 korda			erinevus 20-30%			erinevus 10-20%			erinevus all 10%		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	98_05	05_11	98_11	98_05	05_11	98_11	98_05	05_11	98_11	98_05	05_11	98_11
Stdv	0,636	0,867	0,784	0,714	0,873	0,837	0,858	0,858	0,734	0,858	0,858	0,734
Ave	1,433	1,128	1,189	1,307	1,067	1,134	1,370	1,370	1,344	1,370	1,370	1,344
Median	1,409	1,167	1,055	1,170	1,118	0,907	1,170	1,170	1,361	1,170	1,170	1,361
X ₀	1,000	-0,926	0,062	0,783	-0,860	-0,077	0,710	-1,133	-0,441	0,710	-1,133	-0,441
Y ₀	-0,113	0,152	0,039	-0,404	0,094	-0,310	-0,284	0,117	-0,157	-0,284	0,117	-0,157
θ	-6,440	170,709	32,423	-27,279	173,743	103,880	-21,811	174,084	160,420	-21,811	174,084	160,420
r	1,006	0,939	0,074	0,881	0,865	0,319	0,765	1,139	0,468	0,765	1,139	0,468
Ave/ median	1,017	0,967	1,127	1,117	0,954	1,250	1,170	1,170	0,988	1,170	1,170	0,988
Punkte ruudus		230/1			306/2			110/3			110/3	
Stdv	0,542	0,772	0,625	0,737	0,950	0,891	0,648	0,871	0,647	0,648	0,871	0,647
Ave	1,326	1,186	1,165	1,218	1,099	1,058	1,136	1,100	1,034	1,136	1,100	1,034
Median	1,324	1,282	1,084	1,047	1,119	0,843	1,060	1,170	0,888	1,060	1,170	0,888
X ₀	0,911	-0,861	0,001	0,697	-0,785	-0,095	0,676	-0,848	-0,202	0,676	-0,848	-0,202
Y ₀	0,204	0,039	0,266	-0,035	0,271	0,123	-0,114	0,051	-0,069	-0,114	0,051	-0,069
θ	12,592	177,388	89,849	-2,889	160,928	127,771	-9,590	176,558	161,102	-9,590	176,558	161,102
r	0,934	0,862	0,266	0,698	0,830	0,155	0,685	0,850	0,214	0,685	0,850	0,214
Ave/ median	1,002	0,925	1,075	1,164	0,982	1,256	1,072	0,941	1,164	1,072	0,941	1,164
Punkte ruudus		83/4			103/5			194/6			194/6	
Stdv	0,844	0,841	0,806	0,850	0,916	0,946	0,901	0,822	0,890	0,901	0,822	0,890
Ave	1,476	0,742	1,216	1,469	1,354	1,366	1,401	1,200	1,241	1,401	1,200	1,241
Median	1,261	0,103	1,014	1,334	1,374	1,146	1,170	1,350	1,040	1,170	1,350	1,040
X ₀	0,885	-0,533	0,352	0,607	-1,035	-0,445	0,605	-0,952	-0,347	0,605	-0,952	-0,347
Y ₀	0,264	-0,189	0,075	0,046	0,173	0,225	0,262	-0,062	0,200	0,262	-0,062	0,200
θ	16,637	160,452	12,055	4,301	170,491	153,140	23,376	176,293	150,017	23,376	176,293	150,017
r	0,923	0,566	0,359	0,609	1,049	0,499	0,659	0,954	0,400	0,659	0,954	0,400
Ave/me dian	1,171	7,198	1,199	1,101	0,985	1,192	1,197	0,889	1,194	1,197	0,889	1,194
Punkte ruudus	151/7			349/8			195/9			195/9		

Kui võtta arvesse koondtabelit, ilmneb, et aastatel 2005-2011 (ehk II perioodil) on tendents sarnane (alla 10% erinevus) nii ruutude kaupa kui koondtabelis.

Keskmise ja mediaani erinevus on 20-30% ainult kolmandal 1998-2011 perioodil teises ja viiendas ruudus, mis näitab et kolmandal perioodil on kõige suured erinevused ruutude vahel. Selline suur erinevus kolmandal 1998-2011 perioodil on loogiline, ning seotud sellega, et siin võrreldakse andmed 1998. ja 2005. aasta vahel, ehk kaks erinevaid kaardistusi, mis on tehtud erineval ajal ning stereokaardistuseks kasutati erineva kvaliteediga aerofotosid.

3.2 Kiili

Joonisel 13 on toodud välja Kiili hoonete ja punktide näitajad: standardhälve (stdv), keskmine viga (ave) ja mediaan (median). Graafiku vaadates tuleb esile mediaani madalamad näitajad teisel 2004-2010 perioodil nii hoonetel, kui ka punktobjektidel (vastavalt 0,084 ja 0,077). Samal ajal sel perioodil punktobjektidel on suur standardhälbe näitaja. Kõige suuremad hajuvused on punktobjektidel, eriti keskmine viga ja mediaan kolmandal 1998-2010 perioodil. Madalamad näitajad on 2004-2010 perioodil (v.a punktide stdv teisel perioodil).



Joonis 13. Kiili hoonete ja punktide standardhälbe, keskmise vea ja mediaani näitajad (ühikud meetrites). I on nihe 1998 ja 2004 a. võrdluses, II – 2004 ja 2010. a., III – 1998 ja 2010 võrdluses.

Koondtabelis 1 on näha, et 1998-2004 ja 1998-2010 perioodil hoonetel on keskmise vea ja mediaani erinevused alla 10% ning nad on suhteliselt võrdsed, 1,056 ja 1,079 m. Teisel 2004-2010 perioodil on erinevus rohkem kui 5 korda, kuid samal perioodil kõige väiksem keskmine nihe, ainult 0,127 m. Kõige suurem on keskmine nihe esimesel 1998-2004 perioodil (0,636 m). Standardhälbed on vähem kui 1 m kõikidel perioodidel. Punktobjektidel keskmise ja mediaani erinevus teisel 2004-2010 perioodil on üle 10 korra, kuid esimesel 1998-2004 ja kolmandal 1998-2010 perioodil jagatise näitaja on väiksem kui 10%.

Nagu ka Tartu omad, on Kiili tulemused välja toodud üheksa osaruudu kaupa (tabel 3). Kaheksas ruudus üheksast on teisel 2004-2010 perioodil keskmise ja mediaani suhe kõige suurem (kuni 8 korda), keskmine viga ning raadius on väike, mis tähendab, et teisel perioodil on kõige täpsemad punktide asukohad. Sama tendents on ka nähtav koondtabelis. Samal ajal samal perioodil kuuendas ruudus on erinevus ainult 10% ning keskmine viga suurenes kuni kaks korda. Esimeses ja teises ruudus on tendents sama: 1998-2004 ja 1998-2010 perioodil on erinevus alla 10%, teisel 2004-2010 perioodil on erinevus kuni 5 korda, sellel perioodil on punktide asukohad kõige lähedasemad. Kolmandas ja üheksandas ruudus suureneb kolmandal 1998-2010 perioodil erinevus kuni 30% ning standardhälbe näitajad on kõige suuremad. Ainult viiendas ruudus esimesel 1998-2004 perioodil keskmise ja mediaani erinevus võrdub 10-20 protsendiga. Kuuendas ruudus keskmise vea ja mediaani suhe tasandatakse kõigil kolmel perioodil.

Tabelist 3 on näha, et hajuvuse jaotus on suhteliselt sümmeetriline 1998-2004 ja 1998-2010 perioodil – keskmise ja mediaani erinevus on alla 10% 15 juhul, seejuures on ka standardhälve keskmisest väiksem. 2004-2010 periood käitub 1998-2004 ja 1998-2010 perioodidega võrreldes täiesti ebasümmeetriliselt nii ruutude kaupa kui ka koondtabelis, erinevus kuni 7 korda 8 juhul, standardhälve on keskmisest suurem, aga mediaan kuni 2 korda väiksem. Kahel juhul on jaotus ebasümmeetriline kõigil kolmel aastal: kolmandas ja üheksandas ruudus on kõik perioodid erineva keskmise ja mediaani jagatisega. Esimesel perioodil on erinevus alla 10%, teisel – kuni 7 korda, kolmandal – 20-30%. Ainult ühel juhul (viies ruut, esimene periood) on erinevus 10-20%. Punktid käituvad sarnaselt: esimesel 1998-2004 ja kolmandal 1998-2004 perioodidel jääb keskmise vea ja mediaani erinevus 10% alla, teisel 2004-2010 perioodil on (nagu ka Tartu kaardilehel) erinevus umbes 10 korda. Standardhälve on kõige väiksem kolmandal perioodil – 1,250, kõige suurem esimesel perioodil – 2,265 ning teisel perioodil on 1,408. Keskmine viga on kõige väiksem 2004-2010

perioodil, mis näitab, et siin on kõige suurem asukohatäpsus. Perioodide kaupa vaadates, on näha, et hajuvus jaotub sümmeetriliselt esimesel 1998-2004 ja kolmandal 1998-2010 perioodidel, ning 2004-2010 periood käitub ebasümmeetriliselt, ainult ühel juhul ilmneb sümmeetriline jaotus kõigil kolmel perioodil: kuuendas ruudus, kus on keskmise ja mediaani erinevus hästi väike.

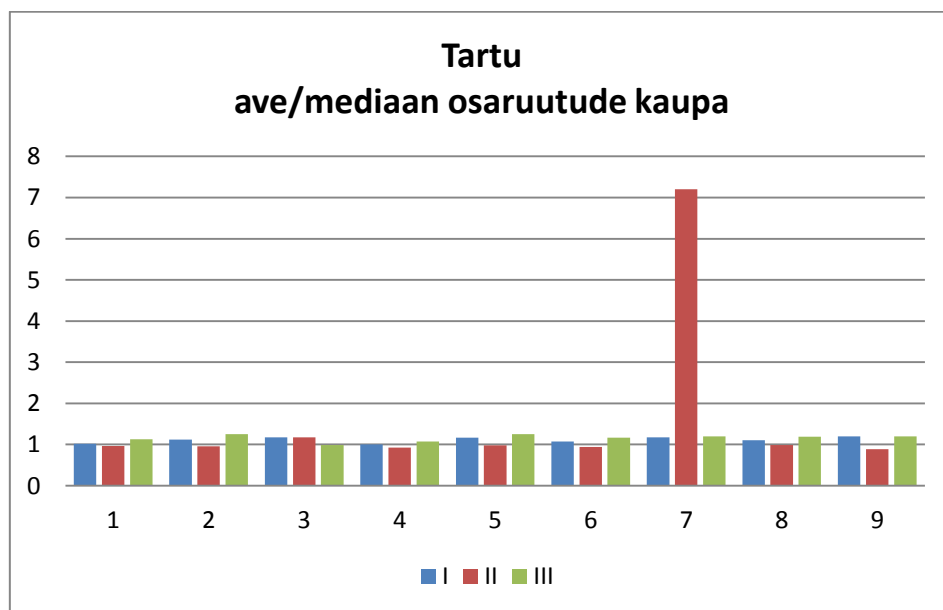
Tabel 3. Kiili näitajad osaruutude kaupa (ühikud meetrites).

	erinevus 7 kuni korda			erinevus 20-30%			erinevus 10-20%			erinevus all 10%		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III			
	98_04	04_10	98_10	98_04	04_10	98_10	98_04	04_10	98_10			
Stdv	0,507	0,710	0,766	0,740	0,724	0,742	0,584	0,539	0,712			
Ave	1,207	0,358	1,309	1,480	0,586	1,479	1,550	0,409	1,467			
Median	1,260	0,076	1,209	1,432	0,089	1,445	1,821	0,075	1,144			
X ₀	0,263	-0,070	0,113	0,451	-0,318	0,157	0,777	-0,314	0,463			
Y ₀	-0,807	-0,102	-0,563	-0,702	0,108	-0,583	-0,828	0,123	-0,704			
θ	-71,925	-124,339	-78,618	-57,303	161,171	-74,931	-46,818	158,575	-56,694			
r	0,849	0,124	0,575	0,834	0,336	0,604	1,135	0,337	0,843			
Ave/median	0,958	4,683	1,083	1,034	6,611	1,023	0,851	5,435	1,282			
Punkte ruudus	49/1			53/2			13/3					
Stdv	0,662	0,689	0,710	0,703	0,694	0,775	0,675	0,842	0,750			
Ave	1,420	0,427	1,474	1,478	0,464	1,358	1,616	1,774	1,395			
Median	1,404	0,081	1,410	1,334	0,085	1,249	1,716	1,696	1,448			
X ₀	0,318	-0,082	-0,148	0,127	-0,243	0,082	0,451	-0,255	0,023			
Y ₀	-0,886	0,208	-0,810	-0,961	0,102	-0,777	-1,151	0,171	-0,774			
θ	-70,258	111,376	-100,39	-82,453	157,320	-83,986	-68,587	-148,467	-88,267			
r	0,941	0,224	0,823	0,969	0,264	0,781	1,236	0,966	0,774			
Ave/median	1,011	5,248	1,045	1,108	5,467	1,087	0,942	1,046	0,964			
Punkte ruudus	139/4			272/5			26/6					
Stdv	0,680	0,290	0,708	0,831	0,600	0,794	0,842	0,910	0,957			
Ave	1,426	0,186	1,403	2,176	0,474	1,973	1,774	0,760	1,507			
Median	1,414	0,069	1,321	2,275	0,096	1,884	1,696	0,096	1,226			
X ₀	-0,649	0,020	-0,630	-1,839	0,200	-1,639	-0,823	0,260	-0,559			
Y ₀	0,604	-0,021	0,581	0,279	0,030	0,304	-0,505	0,222	-0,299			
θ	137,041	-46,511	137,289	171,382	8,554	169,489	-148,47	40,438	-151,911			
r	0,887	0,029	0,857	1,860	0,202	1,667	0,966	0,342	0,634			
Ave/median	1,008	2,702	1,062	0,956	4,960	1,047	1,046	7,908	1,230			
Punkte ruudus	65/7			140/8			146/9					

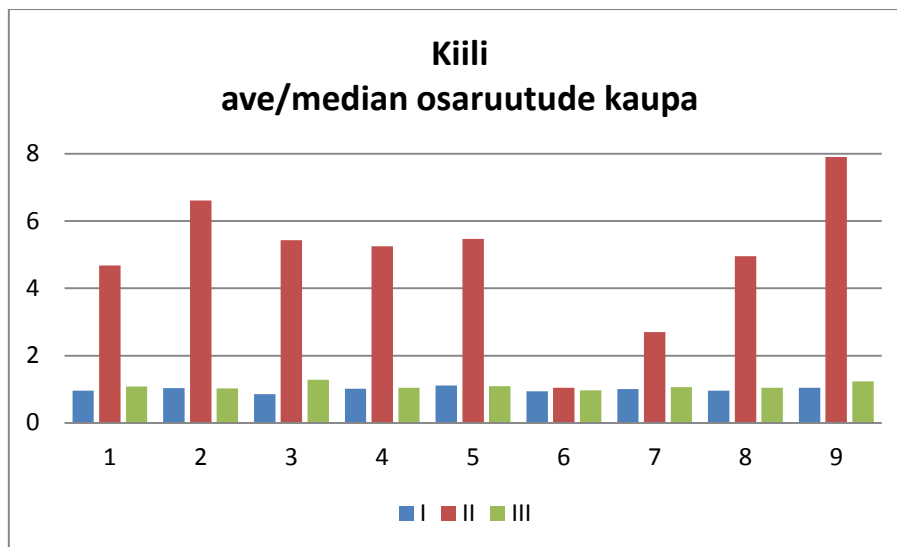
3.3 Tartu ja Kiili

Kiili ja Tartu hoonete nurgapunktide olukord on vastupidine. Kiili kaardilehel on hoonetel teisel 2004-2010 perioodil keskmise ja mediaani suhe ligikaudu 5 korda (tabel 1), samal ajal kui Tartu kaardilehel on erinevus alla 10%. Sama olukord on kui vaadata Tartu osaruutude kaupa: kaheksas ruudus üheksast (joonis 14, tabel 2) keskmise ja mediaani jagatis on Tartu kaardilehel teisel 2005-2011 perioodil madal (alla 10%) ja ainult seitsmendal ruudul võrdub näitaja 7ga. Kiili lehel on olukord vastupidine (joonis 15, tabel 3): kaheksas ruudus üheksast jagatis on teisel 2004-2010 perioodil moodustab kuni 8 ja ainult kuuendas ruudus jääb jagatis alla 10%.

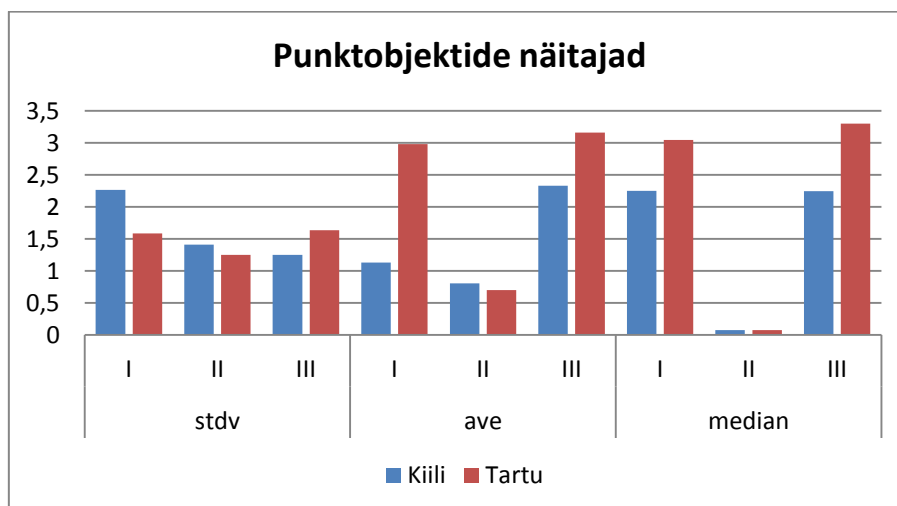
Kiili kaardilehel on 1998-2004 ja 1998-2010 perioodil hoonete hajuvus alla 10% nagu ka punktobjektidel. Tartus suureneb 1998-2005 ja 1998-2011 perioodil hajuvus kuni 20% ning see annab vastupidise situatsiooni punktobjektidel, kus mõlemal juhul nii Tartus kui ka Kiilis on punktide jaotus sarnane (joonis 16).



Joonis 14. Tartu keskmise vea ja mediaani jaotus osaruutude kaupa (ühikud meetrites). I on nihe 1998 ja 2005 a. võrdluses, II – 2005 ja 2011. a., III – 1998 ja 2011 võrdluses.

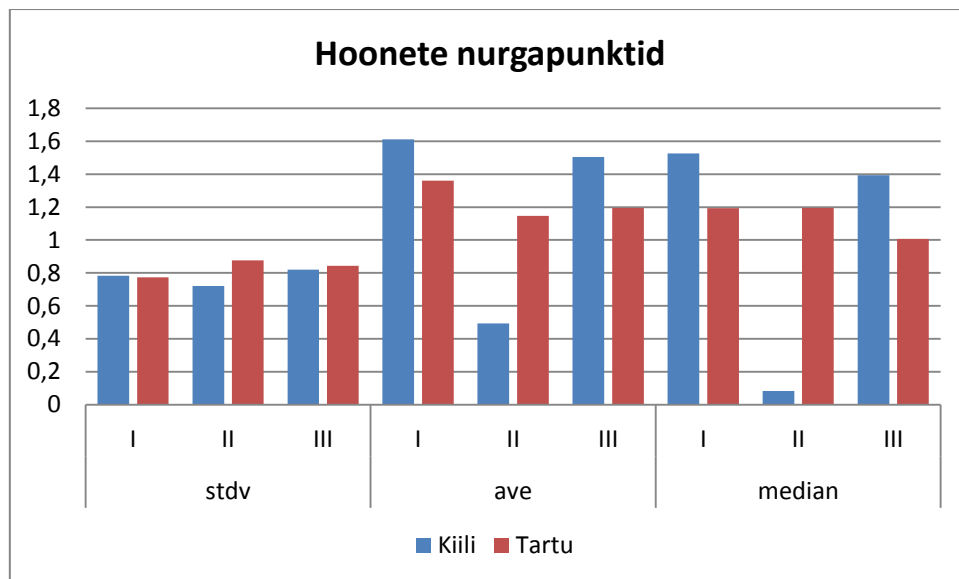


Joonis 15. Kiili keskmise vea ja mediaani jaotus osaruutude kaupa (ühikud meetrites). I on nihe 1998 ja 2004 a. võrdluses, II – 2004 ja 2010. a., III – 1998 ja 2010 võrdluses.



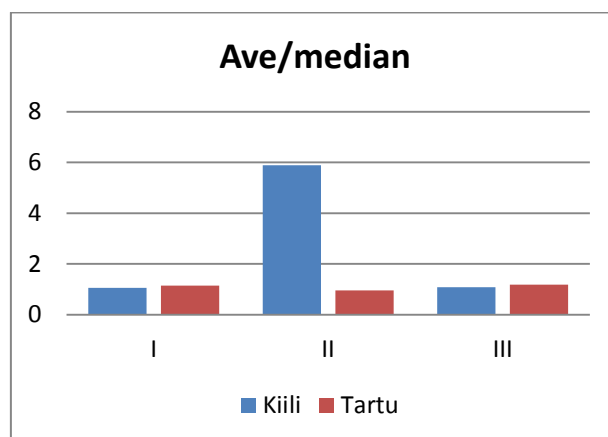
Joonis 16. Kiili ja Tartu punktoobjektide tulemused: standardhälve, keskmine viga ja mediaan (ühikud meetrites). I on nihe 1998 ja 2004/05 a. võrdluses, II – 2004/05 ja 2010/11. a., III – 1998 ja 2010/11 võrdluses.

Kui vaadata koondtabelit (hooned) ja osaruute on näha, et teine 2004/05-2010/11 periood Tartus ja Kiilis erineb (joonis 17), eriti mediaani näitajatega (1,195 ja 0,084). Kiilis on enamasti igas ruudus teine periood väikese keskmise vea, väikese raadiuse ning suurema keskmise ja mediaani jagatisega (v.a kuuendas ruut, kus näitajad on suuremad kui samal ruudul Tartus). Tartus on aga teisel perioodil keskmise ja mediaani suhe vähem kui 10%, ning vastavalt suurema keskmise vea ning raadiusega.



Joonis 17. Kiili ja Tartu hoonete punktide tulemused: standardhälve, keskmine viga ja mediaan (ühikud meetrites). I on nihe 1998 ja 2004/05 a. võrdluses, II – 2004/05 ja 2010/11. a., III – 1998 ja 2010/11 võrdluses.

Kui käsitleda eraldi keskmise ja mediaani jagatis (joonis 18), on näha, et 1998-2004/05 ja 1998-2010/11 perioodidel Kiili ja Tartu näitajad käituvad sarnaselt, kuid 2004/05-2010/11 perioodidel tulemused on vastupidised.

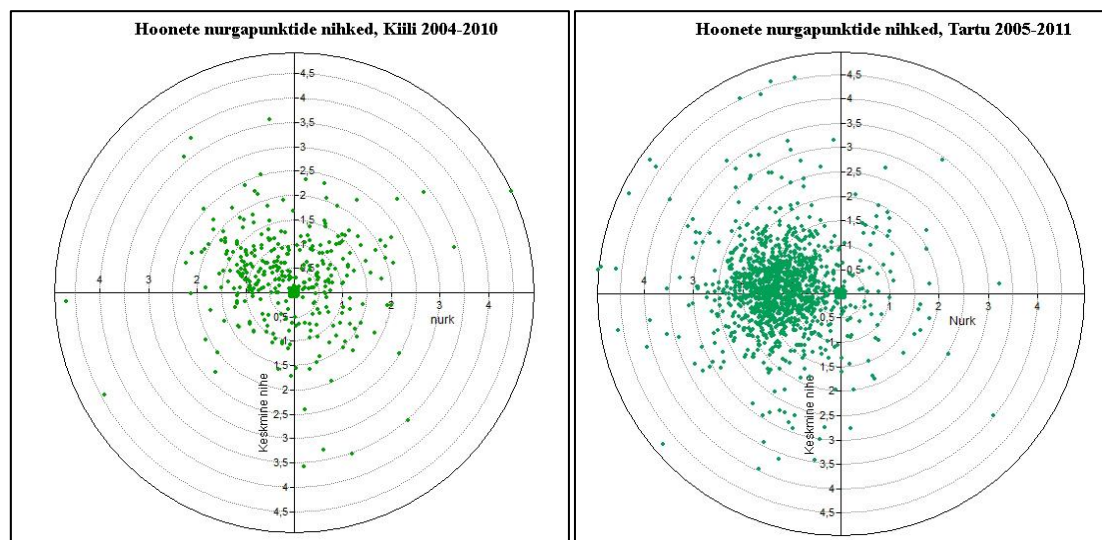


Joonis 18. Keskmise ja mediaani suhe Kiili ja Tartu hoonete punktide jaoks (ühikud meetrites). I on nihe 1998 ja 2004/05 a. võrdluses, II – 2004/05 ja 2010/11. a., III – 1998 ja 2010/11 võrdluses.

Teoreetiliselt peaksid kaardistused aastatel 2004/05-2010/11 olema sarnased (saab öelda, et identsed), sest 2010/11 aastate kaardistusi tehti 2004/05 kaardistuse uuendamise teel, ehk vajalikud objektid kustutati ära, mõned digiti juurde jne. Kuid graafikute ja saadud tabelite

järgi on näha, et realselt ei ole nii ning kummalgi juhul on hajuvused olemas. Eriti suur erinevus on hajuvuste jaotumises Kiili ja Tartu punktide vahel teisel 2004/05-2010/11 perioodil. Joonisel 19 on näha, et Kiili punktide nihked lähenevad nullile, jaotus on tugevasti ebasümmeetriline. Tartus aga on selgelt näha, et enamiku punktide hajuvuspilve kese on nihkunud läände. Tartu punktide puhul on süstemaatiline viga suurem, mis on näha samal joonisel 19.

Tartu tulemuste saamiseks kasutati 1721, Kiili jaoks aga 903 punkti, mida on ligikaudu 2 korda rohkem, kui Kiilis. Nele Jäetma ja Natalja Liba (2007) leidsid, et täpsuse hindamiseks piisab kui mõõta 1/2-1/4 punktobjektidest. Seega, kui Kiili punktide arv oleks võrdne Tartuga, oleks punktide nihked ikkagi samasugused, mis tähendab, et Tartu ja Kiili punktide hajuvus on igal juhul erineva suunaga, ning punktide arv ei mõju väga statistikat.



Joonis 19. Kiili ja Tartu nurgapunktide jaotus polaargraafikul, aastatel 2004/05-2010/11

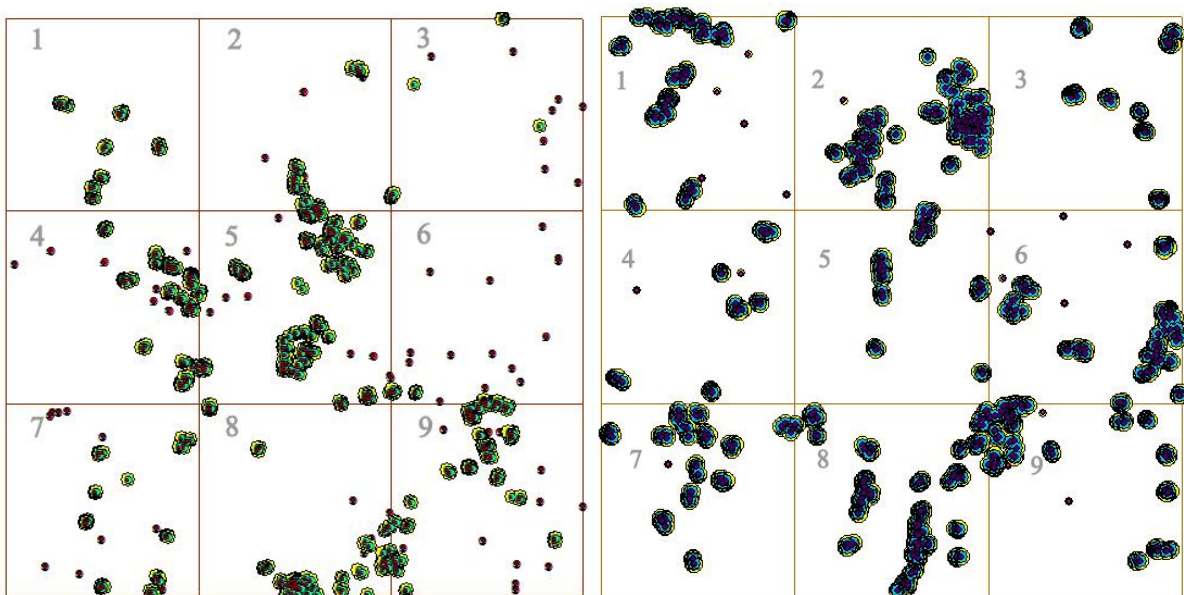
Punktobjektide nihked Tartu ja Kiili puhul käituvad sarnaselt, keskmised vead, standardhälbed ja mediaanid on üsna väikesed. Selline olukord võib olla põhjustatud sellest, et punktobjekte ning ehitiste kaardistused toimusid eraldi, sest kaardistust tehti objektide kaupa, mis tõi kaasa hajuvuse.

Esimese 1998-2004/05 perioodi kaardistused on tehtud kummalgi juhul uuesti uute aerofotode põhjal (aastatel 1998 ja 2004/05), kolmandal 1998-2010/11 perioodil käsitletud kaardistused 1998 – 2010/11 on tehtud ka erinevate aerofotode põhjal, seetõttu esimesel ja kolmandal perioodil on keskmine viga ja mediaan hästi suur, sest aerofotodel esinesid suure

tõenäosusega nihked, mis olid põhjustatud natuke erinevast triangulatsioonist ning moonutustest aeropildistamise hetkel. Samuti mängib suurt rolli ka aerofotode erinev kvaliteet.

Samal ajal 2010/11 perioodi kaardistus, nagu on eelnevalt mainitud, on tehtud 2004/05. aastate kaardistuse põhjal ning asukohta muudeti vaid neil objektidel, mida oli vaja parandada. Seetõttu on teise 2004/05-2010/11 perioodi standardhälve väike, aga keskmine viga Tartu lehel on 2,3 korda suurem kui Kiili keskmine. Antud juhul on hajuvused ebasümmeetrilised. Suur hulk nihkeid, ulatusega ainult mõni sentimeeter, on tõenäoliselt seotud andmete teisendusega. Uue stereokaardistuse vead on väga väikesed.

Kui võrrelda mediaane, on näha, et (Kiili kohta) on 1998-2004 perioodi mediaan 18 korda suurem kui 2004-2010 perioodi mediaan. Erinevus võib tuleneda sellest, et punktide jaotus kaardilehel ei ole ühtlane, ning tulemuse arvutamisel toob see ka erinevusi. Joonisel 20 on esitatud punktide jaotus osaruutude kaupa Kiilis ja Tartus. Jooniselt on näha, et igal osaruudul ei ole ühesugune punktide arv ning nende tihedus on erinev, näiteks Kiilis on teises ruudus punktide tihedus väiksem kui Tartus samas ruudus. Kui võrrelda iga kaardilehe osaruute omavahel on situatsioon samasugune, näiteks Kiilis kuuendas osaruudus hoonete nurgapunktid peaaegu puuduvad, samal ajal kui kuuendas ruudus on punktojektide arv kõige suurem.



Joonis 20. Kiili (vasakul) ja Tartu (paremal) punktojektide ja hoonete punktide jaotus ruutude kaupa, välja toodud kõik kolme aasta punktid (1998-2004/05-2010/11). Väikesed täpikesed tähendavad punktojekte, suured on hoonete punktid.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö üldiseks eesmärgiks oli suhtelise asukohatäpsuse uurimine kahel erineval kaardilehel, mis on sarnase reljeefi ja maastikuga ning millel on olemas kolmel erineval ajal tehtud kaardistused. Nihete uurimiseks erinevatel ajaperioodidel (I - 1998-2004/05, II - 2004/05-2010/11, III - 1998-2010/11) kasutati hoonete nurgapunkte ja põhikaardil olevaid kindla asukohaga punktobjekte. Kõigile kolmele perioodile arvutati standardhälve, keskmine viga, mediaan, X ja Y koordinaadid, nihke nurka ning raadius, keskmise vea ja mediaani suhet.

Alates Eesti Põhikaardi projekti algusajast (1991) on põhikaardi tootmistehnoloogia läbi teinud suure evolutsiooni – täielikust manuaaltehnoloogiast 100% digitaalseks (Mõisja, 2004). Tehnoloogia arenemisega muutus nii Eesti põhikaardi kvaliteet, kui ka tootmisprotsess.

Digitaalkaardistuse periood algas 1996. aastal ja kestab tänapäevani. See on väga töömahukas ning aeganõudev protsess, eriti 1996-2006. aastatel, kus kogu kaardi andmestik digiti iga kord aerofotodelt uuesti ning täiendati hiljem välitöödelt kogutud parandustega. Seetõttu on saadud tulemustel näha, et esimesel perioodil (1998-2004/05) esinevad suured juhuslikud nihked. Sarnane tendents on kolmandal perioodil (2004/05-2010/11): standardhälve suurem kui keskmine viga, keskmise ja mediaani jagatis võrdub 10%-20%. Tulemuste sarnane käitumine on seotud sellega, et 2010/11 andmete kaardistus nagu eelpool mainitud, on tehtud 2004/05 kaardistuse põhjal. Seega saab öelda, et 2010/11 punktid on samad punktid, mis on esitatud aastal 2004/05, ainult koos mõningate parandustega. Hajuvus on sarnane Kiili hoonete nurgapunktidel ning Kiili ja Tartu punktobjektidel: keskmine viga ning keskmise ja mediaani suhe on alla 10%. Erandiks on Tartu hoonete nurgapunktid kus esimesel ja teisel perioodil keskmine viga ning keskmise ja mediaani jagatis suurenes 10-20%. Moonutused on asümmeetrilised ning süstemaatilised vead puuduvad.

Alates 2006. aastast on Eestis kasutusel ETAK, mille eesmärgiks on olla üheks andmekoguks, mis võimaldab varustada ühiskonna ajakohaste ning kvaliteetsete andmete ja andmete baasil valmistatud kaartidega. Põhikaardi üheks muutuseks on see, et andmed uuendatakse eelmise digikaardi baasil kasutades uusi aerofotosid. Seda kinnitavad ka saadud tulemused. Teisel perioodil (2004/05-200/11) Kiili hoonete nurgapunktidel ning Kiili ja Tartu punktobjektidel olukord on jälle sarnane, väga väikesed moonutused paari cm võrra, mis on

seotud uue tootmisprotsessiga. Tartu hoonete nurgapunktide olukord on vastupidine. Keskmine viga ja mediaan ületavad ühe meetri. Esinevad moonutused, mis kalduvad läände, mis näitavad teisel perioodil esinevat süstemaatilist viga. Süstemaatilise vea põhjuseid antud töös ei käsitleta, kuid saab eeldada, et ühe tendentsiga moonutused on seotud tootmisprotsessiga.

Summary

Accessing relative accuracy of The Estonian Base map on the basis of three different periods of mapping.

The aim of the thesis was to explicate, which is relative accuracy between three different periods of mapping, how large is mean deviation, and find if systematic errors exist.

The research is based on two digital cadastral maps: Kiili (cadastral nr. 63744), neighborhood of Jüri roundabout, and Tartu (cadastral nr. 54751), the east side of Tartu. Years of mapping are 1998, 2004/05, 2010/2011.

Data accumulated from the comparison of point objects (trees, posts, wells, stones) and buildings, which corners were converted to points. All data processing was in ArcGIS software, and data statistical calculation in MS Excel. The main results of research are shown in three tables. For data analysis three periods were compared and main statistical values were calculated: first period is 1998-2004/05 second is 2004/05-2010/11 and third period is 1998-2010/11. Relative accuracy was described by standard deviation, median, average, X and Y coordinates, distance and angle of deviation.

The first and third periods behave similarly: large deviation between points and standard deviation is bigger than average, errors are random. This condition linked to that fact, that in the first and third period absolutely different mapping was used, each map's data was newly digitized in 1998 and 2004/05. The case why third period went similar is 2010/11 digital map novation on the basis of mapping of 2004/05. The lowest value of deviation exists in second period in Kiili buildings, and Kiili and Tartu point objects. The low value explained by using the same 2004/05 data for 2010/11 data novation on the basis of new aerial photos.

Tartu points of building angles went vice versa in the second period, as well as systematic error can be noticed: in this period Tartu points trend to the west. However, in this paper the reasons of systematic error are not disserted, because the aim was only explicate positional accuracy.

Tänuavaldused

Tänan omad juhendajaid Kiira Mõisjat ja Tõnu Oja, kes olid töö valmimisel suureks abiks ja toetuseks. Veel tahan tänada oma perekonda suure toetuse eest.

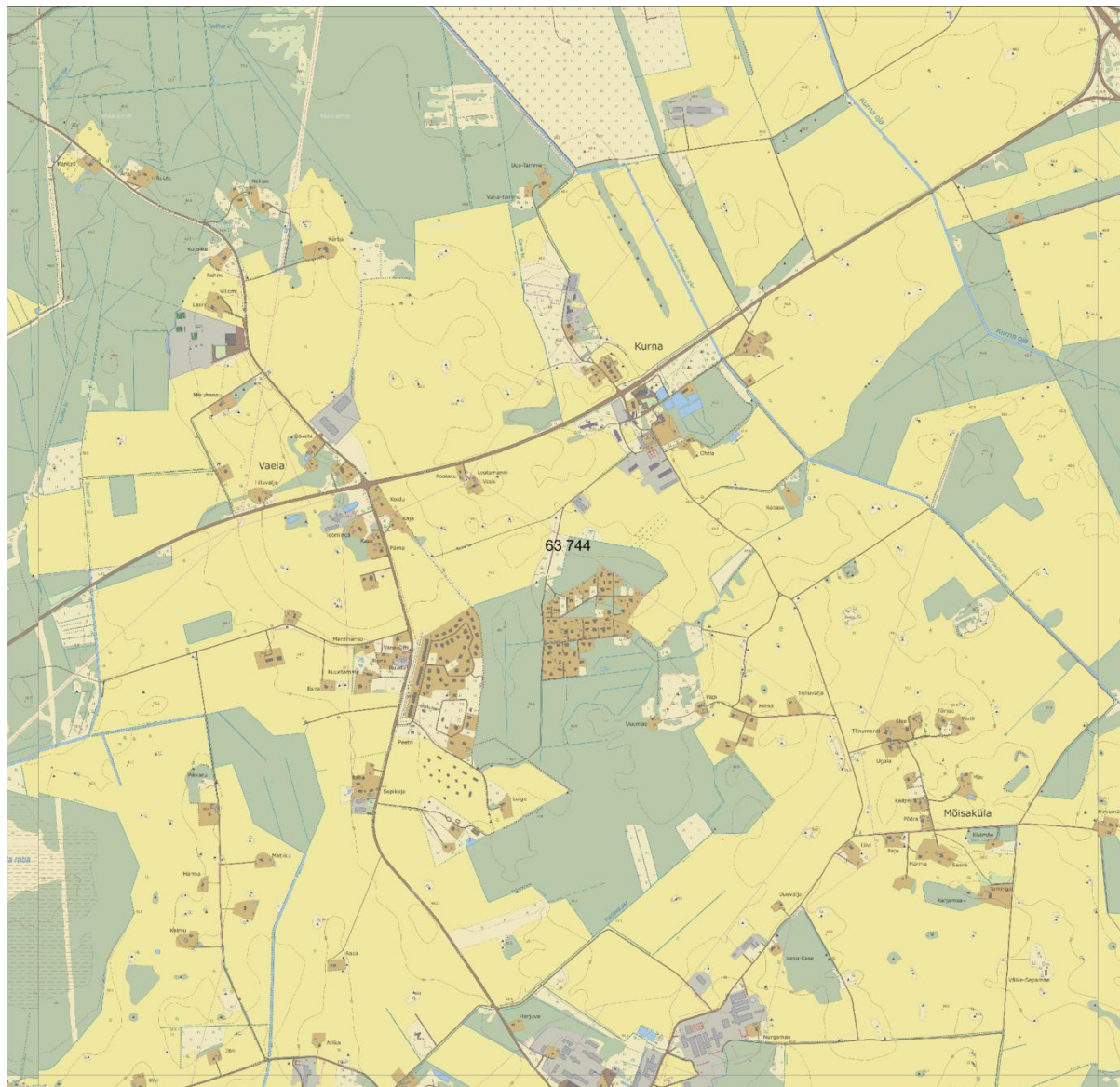
Kasutatud kirjandus

- Goodchild, M. F. & Hunter, G. J. (1997).** A simple positional accuracy measure for linear features. *Geographical Information Science*, vol. 11, no. 3:299-306.
- Jakobsson, A. & Vauglin, F. (2001).** Status of Data Quality in European National Mapping Agencies. *Proceeding of the 20th International Cartographic Conference*, vol 4:2875-2883
- Jäetma, N. & Liba, N. (2007).** Digitaalkaardil olevate objektide täpsuse hindamise meetoodika stereomudeli alusel. *Geodeet* , 34:18-23.
- Leibovici, D.G., Pourabdollah, A. & Jackson, M. J. (2013).** Which spatial data quality can be metapropagated? *Journal of Spatial Science*, vol. 58 1:3-14.
- Liba, N. (2005).** Fotogramm-meetria alused. Tartu: Halo, 303 lk. lk 43-225.
- Maa-amet (2006a)** Eesti põhikaardi 1:10 000 digitaalkaardistuse juhend.
<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Eesti-Pohikaart-110-000/Juhendid-ja-abifailid-p130.html> [21.05.2015]
- Maa-amet (2006b)** Ülevaade Eesti topograafilisest andmekogust.
http://geoportaal.maaamet.ee/docs/ETAK/Ylevaade_Eesti_topograafilisest_andmekogust.pdf?t=20091211092207. [21.05.2015]
- Maa-amet (2013)** Topograafiliste andmete kaardistusjuhend (2013).
http://geoportaal.maaamet.ee/docs/ETAK/ETAK_juhend2013.pdf?t=20131205160124 [21.05.2015]
- Maa-ameti geoportaal** <http://geoportaal.maaamet.ee> [21.05.2015]
- Maune, D. (2007).** Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual. Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Metsur, M. (2012).** Kaardistamiseks vajaminevate algandmete tootmine: aerofotod, ortofotod, kõrgusmudelid. Maa-amet.
http://geoportaal.maaamet.ee/docs/Tutvustus2012_v3.pdf?t=20120125115647 [21.05.2015]
- Mobasheri, A. (2013).** Exploring the Possibility of Semi-Automated Quality Evaluation of Spatial Datasets in Spatial Data Infrastructure. *ITB Journal Publisher*, vol. 7, 1:1-14.
- Mõisja, K. & Pauts, L. (2005).** Nähtuste kaardistamisest Eesti põhikaardil. *Geodeet* 30:12
- Mõisja, K. (2004).** Eesti põhikaardi kvaliteedijuhtimine. *Geodeet*, 28:10-13.

- Polo, M-E. & Felicísimo, A.M. (2010).** Full Positional Accuracy Analysis of Spatial Data by Means of Circular Statistics, University of Extremadura. Transactions in GIS, 14(4): 421–434.
- Potter, H. & Tamme, L. (2001).** Põhikaardistamisest taasiseseisvunud Eestis. Geodeet, 24:10-12.
- Potter, H. & Treikelder, I. (2011).** Geodeesia ja kartograafia läbi aegade. Maamõõtmise ning kaardistamiskultuuri ajalugu sõnas ja pildis. Tartumaa (Lohkva): Maa-amet, 264 lk. lk 167-168, 190-191.
- Potter, H. (1992).** Eesti uus põhikaart. Geodeet, 2:7-9.
- Potter, H. (1998).** Uus Eesti põhikaart. Eesti Loodus 49 (11/12): 524–526.
- Potter, H. (2004).** Põhikaardistamise ajaloost. Geodeet, 28: 6-8.
- Potter, H. (2009).** Sada aastat aerofotograafiat. Eesti Loodus 2009/3.
- Randjärv, J. (2007).** Geodeesia, III osa, „Topograafia,” Tartu: Halo, 219 lk. lk 27-47.
- Shi, W. (2009).** Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyse. Kowloon, The Hong Kong Polytechnical University.
- Suurna, R (2009).** Lihtne tarkvara stereokaardistamiseks. AlphaGIS.
http://www.alphagis.ee/data/img/esri09/ESRI_paevad_PurVIEW.pdf. [21.05.2015]
- Tamme, L. (1993).** Esimesed sammud, Geodeet, 5:5-6.
- Teiter, K. (2008).** ESRI tarkvarakasutamine Eesti topograafilise andmekogu pidamisel.
http://www.alphagis.ee/data/img/esri08/ESRIpaevad_kristian_teiter.pdf [21.05.2015]
- Vallner, R. (2004).** Eesti põhikaardi roll rahvusliku kartograafia arengus. Geodeet, 28:5.
- Veregin, H. (1989).** A Taxonomy of Error in Spatial Databases. Santa Barbara, CA, National Center for Geographic Information and Analysis Technical Paper No. 89-12.
- Veregin, H. (1999).** Data quality parameters. In Longley, P.A., Goodchild, M.F, Maguire, D.J., and Rhind, D.W. (Eds.), Geographical Information Systems, New York: Willey, pp 177-180.

LISAD

Lisa 1. Kaardileht 63744, Kiili piirkond. Põhikaart



Lisa 2. Kaardileht 63744, Kiili piirkond. Ortofoto



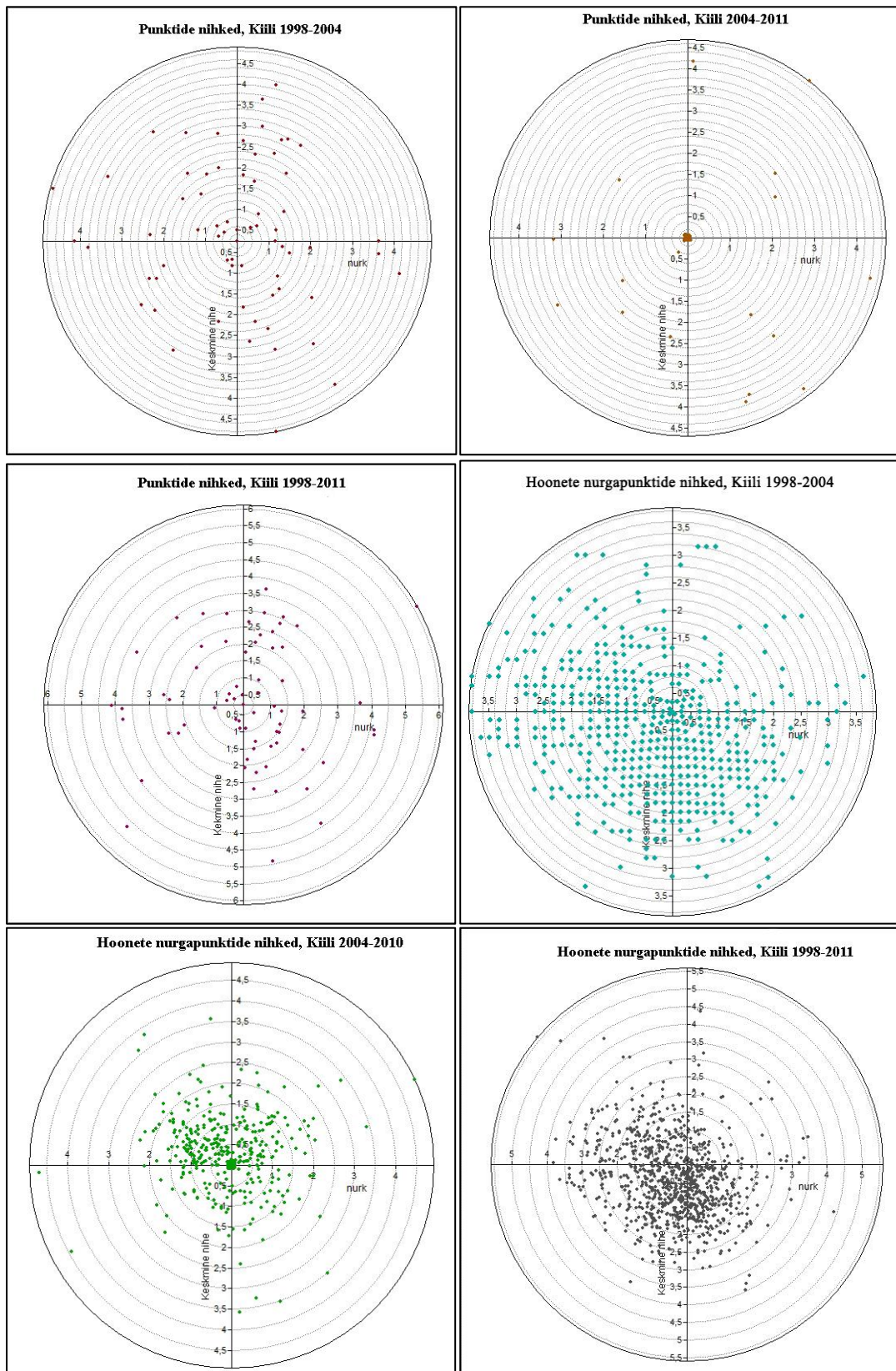
Lisa 3. Kaardileht 54751, Tartu piirkond. Põhikaart



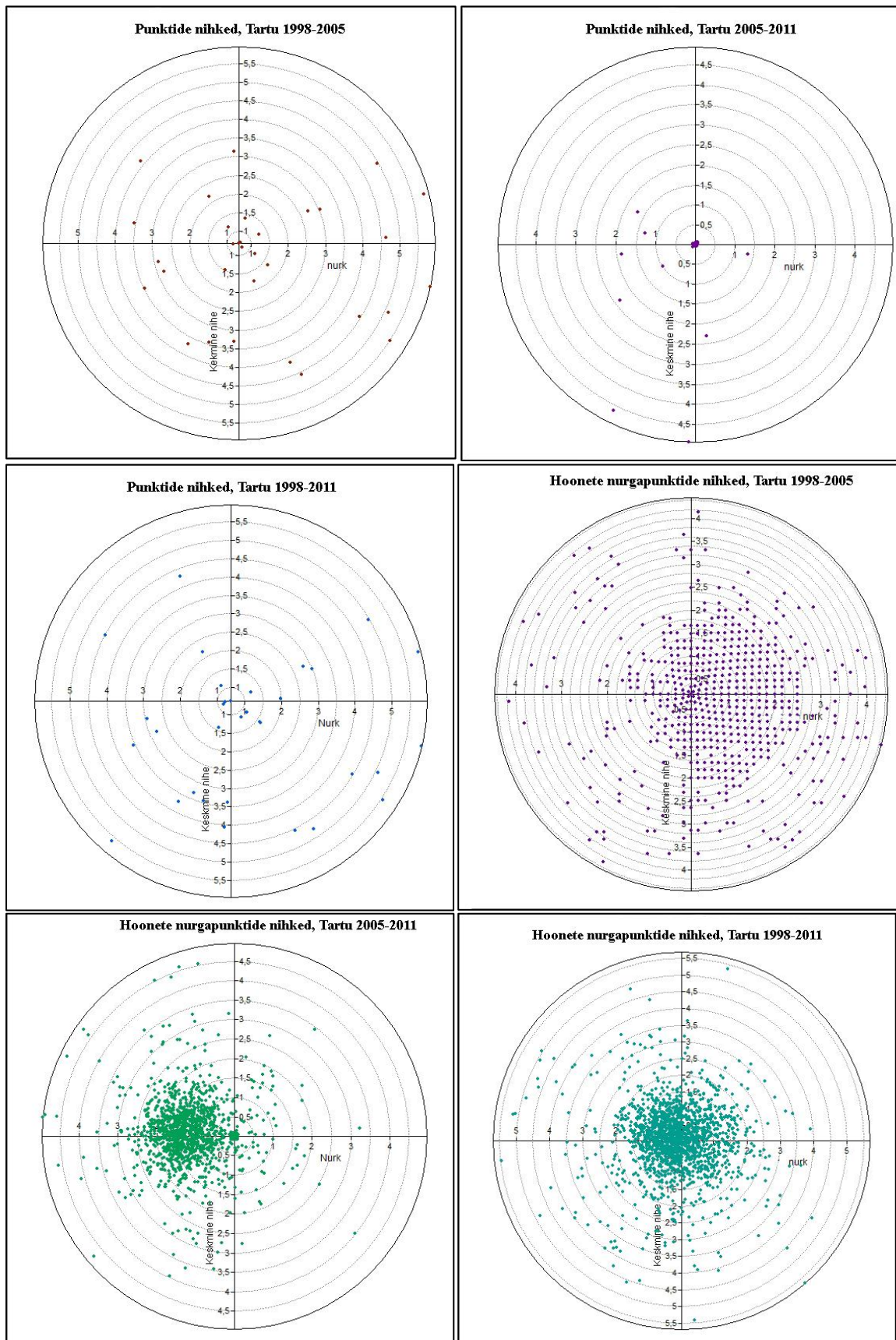
Lisa 4. Kaardileht 54751, Tartu piirkond. Ortofoto



Lisa 5. Polaargraafikud, Kiili



Lisa 6. Polaargraafikud, Tartu



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Olga Rõbkina

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Eesti põhikaardi lehtede erinevate kaardistuste suhteline asukoha täpsus, mille juhendajad on Kiira Mõisja ja Tõnu Oja
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 21.05.2015